

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Sistema de Producción de Nanopartículas por Nebulización Neumática en el Entorno del Punto Crítico. Desarrollo y Escalado.

Autor: Miguel Ángel Zayas Martín

Tutor: Alfonso Miguel Gañán Calvo

Dpto. Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo de Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

Sistema de Producción de Nanopartículas por Nebulización Neumática en el Entorno del Punto Crítico. Desarrollo y Escalado.

Autor:

Miguel Ángel Zayas Martín

Tutor:

Alfonso Miguel Gañán Calvo

Catedrático

Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo de Fin de Máster: Sistema de Producción de Nanopartículas por Nebulización Neumática en el Entorno del Punto Crítico. Desarrollo y Escalado.

Autor: Miguel Ángel Zayas Martín

Tutor: Alfonso Miguel Gañán Calvo

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia
A mis maestros

Índice

Índice	11
1 Introducción	13
2 Descripción general	15
2.1. <i>Morfología del dispositivo</i>	15
2.1.1 Descripción de conjunto.	15
2.1.2 Diagrama de montaje.	17
2.1.3 Tamaño en comparación con el TFG.	18
2.2. <i>Funcionamiento</i>	19
2.2.1 Principios físicos	19
2.2.2 Evolución de los volúmenes líquido y vapor.	21
2.3. <i>Dispositivo precedente</i>	23
2.3.1 Recordatorio de la configuración	23
2.3.2 Problemas encontrados	24
2.3.3 Propuesta inicial.	25
3 La vasija	27
3.1. <i>Cilindro de la vasija.</i>	28
3.1.1 Volumen interno.	28
3.1.2 Grosor de las paredes.	28
3.1.3 Tornillería y diámetro interno.	31
3.1.4 Selección del material.	33
3.2. <i>Vástago</i>	34
3.2.1. Roscado de la base.	35
3.2.2. Soldadura.	36
3.2.3. Geometría final de la pieza	37
3.3. <i>Negociación de la configuración con Sokar Mechanics. Configuraciones desechadas.</i>	38
4 Calentamiento	41
4.1. <i>Resistencia eléctrica</i>	41
4.1.1 Tipología de la resistencia. Opciones.	41
4.1.2 Conclusiones	42
4.2. <i>Aislamiento</i>	43
4.3. <i>Electrónica</i>	45
5 Entradas y salidas	49
5.1. <i>Válvula de alivio y recarga.</i>	50
5.1.1. Dimensionamiento del diseño propio. Iteraciones.	50
5.1.2. Soluciones comerciales.	57
5.1.3. Solución final.	59
5.2. <i>Válvulas de aguja.</i>	61
5.3. <i>Roscas de las entradas.</i>	62
6 Presupuesto	65
7 Dificultades administrativas	67

8	Anexos	71
8.1.	<i>PLANOS.</i>	73
8.2.	<i>PRESUPUESTOS</i>	85
8.3	<i>CÓDIGOS DE MATLAB.</i>	103
8.4.	<i>HOJAS DE CARACTERÍSTICAS.</i>	107
9.	Bibliografía	133

1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto es la continuación natural de nuestro Trabajo de Fin de Grado, en el cual ensamblamos, añadimos electrónica y ensayamos con éxito el dispositivo diseñado por José María López-Herrera y Alfonso Gañán Calvo. El objetivo del equipo era el de producir una nube de nanopartículas de agua, cuyo tamaño nanométrico mediríamos mirando en el microscopio electrónico el tamaño de las deposiciones de agua salina o de la sustancia que hubiéramos disuelto en el agua. Para producir gotas nanométricas el equipo tenía que disminuir la tensión superficial del agua todo lo posible, lo cual conseguíamos llevando el fluido al entorno del punto crítico, a partir del cual desaparece la distinción entre las fases líquida y vapor.

Con el equipo anterior obtuvimos abundantes muestras, pero decepcionados por el gran tamaño de las deposiciones y las dificultades propias de operación que tenía, determinamos que era necesario hacer muchas mejoras en el dispositivo.

Este Trabajo de Fin de Máster tiene por objetivo dar respuesta a las necesidades de mejora del dispositivo original, para lo cual se ha planteado un nuevo equipo que sea capaz de dar más presión, más estable de operar, más compacto y más barato de fabricar. Para conseguirlo, el proyecto ha derivado en un diseño completamente distinto al que teníamos en el TFG. Es un dispositivo que hemos diseñado, calculado y presupuestado con gran detalle ya que nuestra intención era la de fabricarlo y repetir los ensayos con el nuevo equipo y ver si finalmente obteníamos deposiciones del orden de nanómetros de forma inequívoca.

Finalmente la falta de fondos ha impedido fabricarlo pero, precisamente porque iba a ser fabricado, el diseño se encuentra muy detallado. La implementación buscaba la máxima probabilidad de éxito por implicar un desembolso significativo. Confiamos pues en que si en un futuro se decide proceder a la fabricación, esta memoria allane el camino a quien la lleve a cabo.

En este documento comenzamos describiendo en primer lugar el dispositivo final, que incluye su configuración, todos sus componentes, su montaje y su funcionamiento. Sobre esta base, procedemos en los apartados siguientes a explicar cómo se ha realizado el dimensionamiento de las piezas y componentes de forma individual, esto es su cálculo o su elección comercial; su fabricabilidad; las iteraciones realizadas o las opciones de compra barajadas; su integración con el resto del equipo; y, por supuesto, también su coste. Concluimos la memoria exponiendo el desglose final y exponiendo las numerosas dificultades administrativas encontradas a la hora de realizar los pedidos que comenzamos a tramitar antes de cancelar la fabricación. De hecho, se compró un número considerable de elementos antes de vernos obligados a tomar esa decisión.

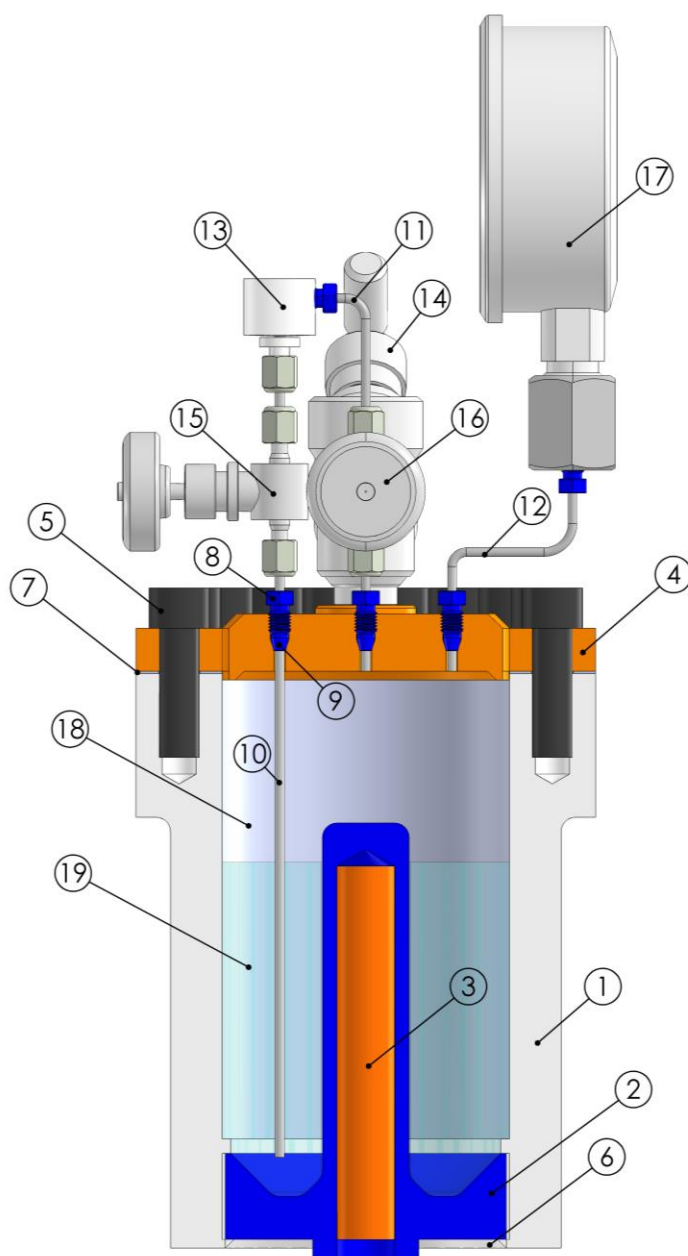
2 DESCRIPCIÓN GENERAL

En este capítulo exponemos a nivel de conjunto la geometría y el funcionamiento del equipo que hemos diseñado. Empezamos lo primero presentando la morfología del dispositivo para familiarizarnos con los componentes y su montaje; luego desarrollamos de forma teórica los fenómenos físicos que pretendemos reproducir con él; y finalmente exponemos el diseño alternativo que se planteó realizar en primer lugar y las razones por las que no se llevó a cabo.

2.1. Morfología del dispositivo

2.1.1 Descripción de conjunto.

En primer lugar, mostramos la sección del conjunto con una tabla enumerando los componentes que lo integran para remitirnos a esta numeración de ahora en adelante en el resto de la memoria,



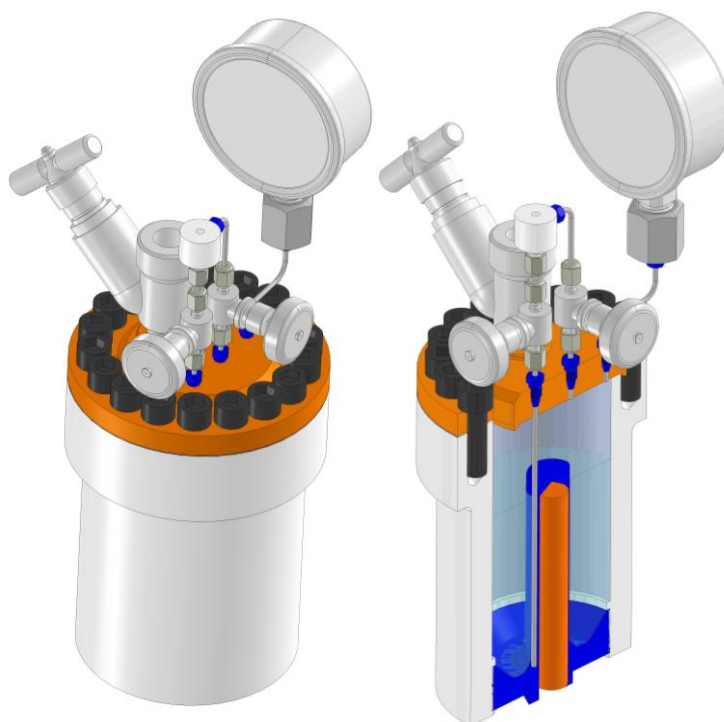
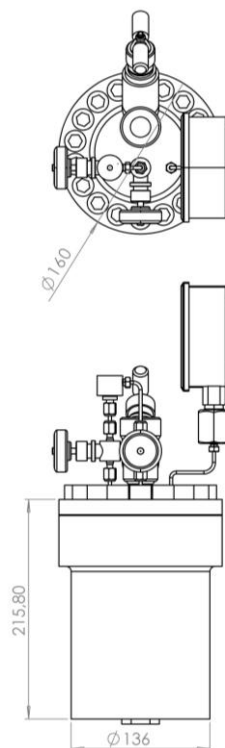
Características generales:

- Temperatura y presión de operación 350°C y 220bar.
- 43 componentes (sin la electrónica)
- Altura 300mm x D160mm.
- Peso 10-15 kg.
- Fluidos de trabajo: solución acuosa de NaCl y vapor de agua.
- Acero inoxidable AISI 316L.
- Potencia 2200W
- Capacidad interna total 1.29L

nº	Componente
1	Cilindro de la vasija
2	Vástago
3	Resistencia de cartucho
4	Tapadera
5	Tornillos M14x2 (18 Uds.)
6	Cordón de soldadura
7	Junta sellante de grafito
8	Nut ZN2
9	Ferrula ZF2S6
10	Tubo 3mm fase líquida
11	Tubo 3mm fase vapor
12	Tubo 3mm toma de presión
13	Nebulizador
14	Válvula de recarga/alivio
15	Válvula de aguja fase líquida
16	Válvula de aguja fase vapor
17	Manómetro comercial
18	Volumen ocupado por vapor
19	Volumen ocupado por líquido

En líneas generales, podemos hacer los siguientes comentarios acerca del equipo:

- El sistema completo constaría de un total de 43 componentes entre piezas grandes (vasija, vástago, tapadera), elementos individuales (nuts, ferrulas, tornillos) y partes comerciales prefabricadas (válvulas, manómetro, resistencia). Así mismo habría que contar con el recubrimiento aislante de lana de roca, que se pondría al final de forma manual.
- Como dimensiones características tenemos que una vez completo tendría unos 30cm de altura por 15cm de diámetro, de manera que fuera fácil trabajar con él en una mesa de laboratorio. Tendría un peso estimado de entre 10-15kg siendo relativamente fácil de transportar
- Sus condiciones de operación serían 350°C y 220bar, es decir, estos son los valores temperatura y presión a las que tendrían que encontrarse el fluido líquido y vapor, tan cerca del punto crítico (374°C y 22.064MPa) como sea posible. En todo caso, la limitación de operación es fundamentalmente en temperatura (unos 400°C) a causa de las limitaciones de operación propias de las válvulas, que son componentes comerciales.
- De forma resumida el funcionamiento es como sigue: para llevar el agua (solución acuosa y vapor) al entorno del punto crítico hemos planteado un sistema análogo al de una olla a presión pero de mayor potencia. Tendríamos un recipiente (1,2,4) que llenaríamos hasta una cierta altura de la solución salina y que calentaríamos por medio de una resistencia (3) aumentando la temperatura y la presión simultáneamente gracias a que convivirían las dos fases del agua, líquida y vapor. El calentamiento lo haríamos con todas las válvulas cerradas hasta alcanzar la temperatura necesaria y a partir de este punto abriríamos las válvulas para ir vaciándolo de contenido. La elevada presión en el interior del recipiente forzaría al líquido y al vapor (separados por una interfase de gravedad) a salir por sus conductos respectivos (10) y (11) cuyo caudal regularíamos con dos válvulas de aguja (15) y (16). Ambas corrientes se encontrarían en el nebulizador (13) que produciría finalmente el chorro de nanopartículas (nanocristales de sal) que queremos analizar.

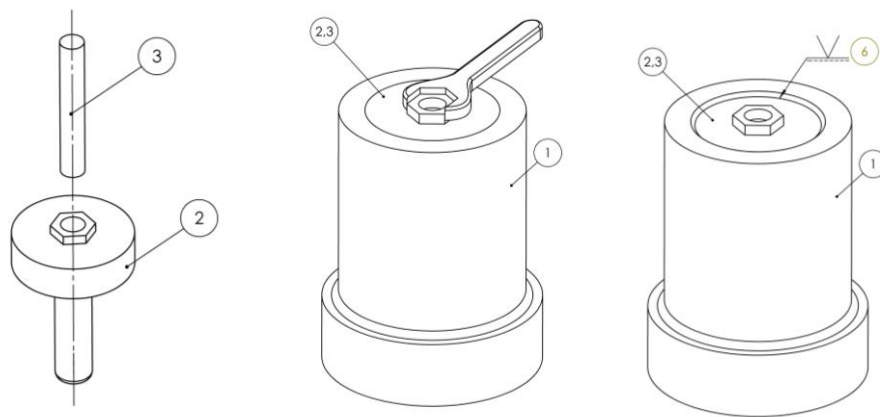


De cara a la operación del equipo por parte del usuario cabe mencionar que:

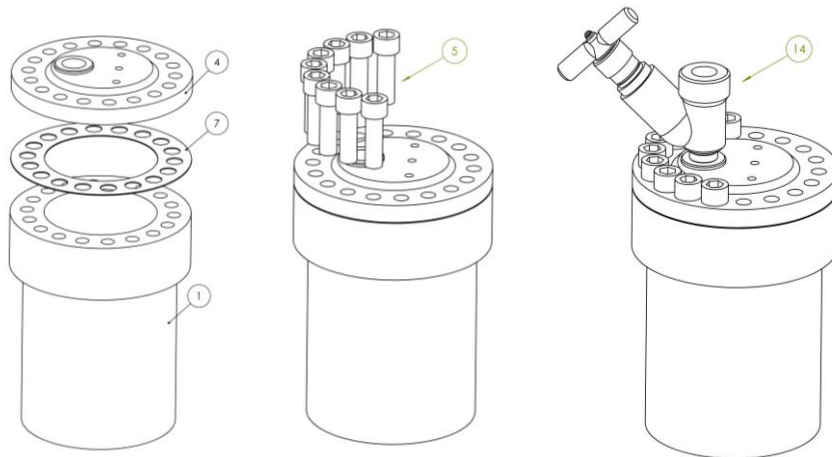
- La operación de las válvulas de aguja de las corrientes líquida y vapor (15 y 16) sería manual, así como la propia válvula de alivio 14.
- La monitorización de la temperatura y la presión se haría por observación directa de la medida de presión en el manómetro (17) y de la medidas de los termopares (no se muestran) para conocer la temperatura de la cámara y de las dos corrientes. En base a ello se regularía manualmente la potencia de la resistencia (3).
- Para conocer los caudales habría que tarar experimentalmente los conductos una vez que se ensamblase el conjunto. Haciendo ensayos tendríamos que determinar la ley de caudales en función de la temperatura/presión de la cámara y de la apertura de las válvulas de forma empírica.

2.1.2 Diagrama de montaje.

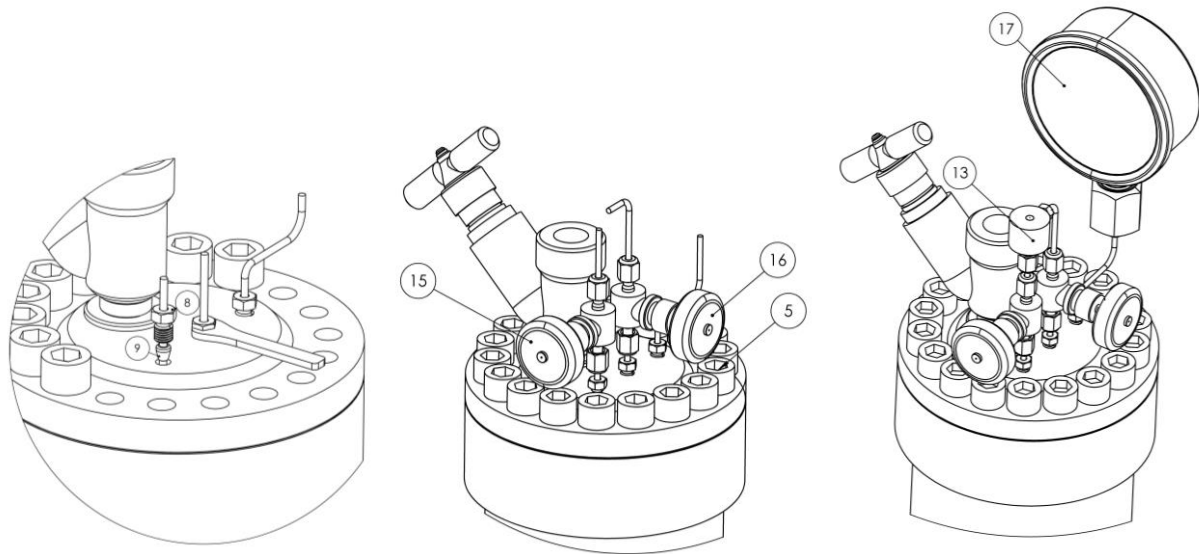
Para evitar colisiones de los componentes hay que seguir un orden de montaje dado y así evitar dar lugar a zonas inaccesibles en el proceso. En primer lugar, el montaje del cilindro de la vasija (1) con el vástago (3) se haría en las propias instalaciones de la empresa que nos las va a fabricar (Sokar Mechanics). Se insertaría a presión la resistencia (3) por el orificio practicado para ello en el vástago (2); luego se roscaría este al cilindro de la vasija por su base; y finalmente se aplicaría un cordón de soldadura (6) para terminar la unión,



A continuación, el montaje lo seguiríamos en el laboratorio. Fijaríamos la tapadera (4) junto con la junta de estanqueidad (7) colocando solo la mitad de los tornillos (5) y roscaríamos la válvula de alivio/recarga (14) manualmente,



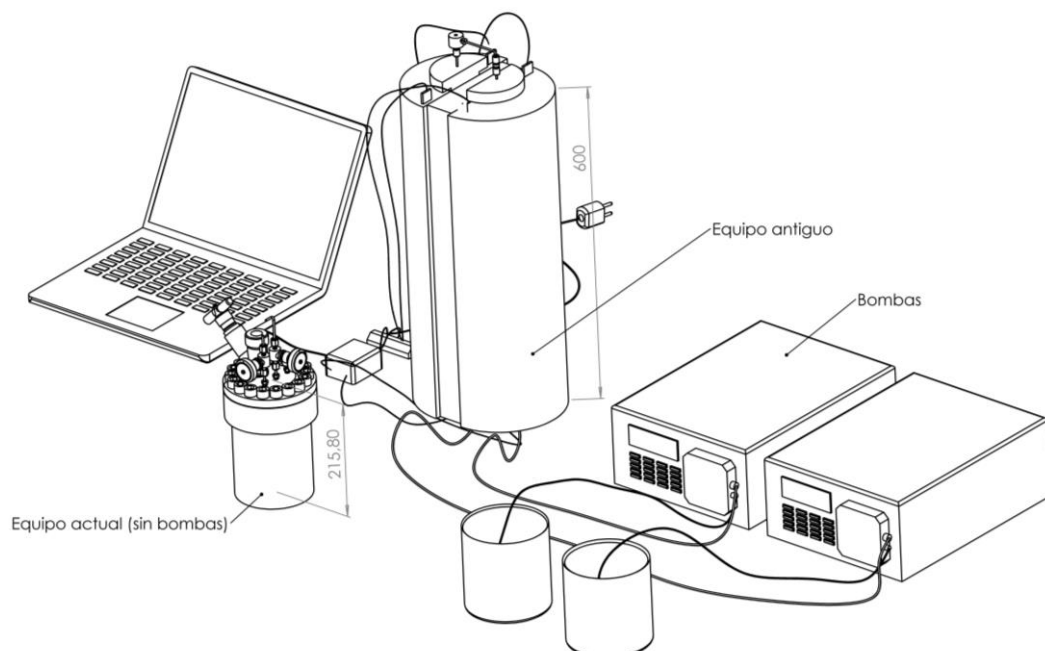
Aprovechando el espacio dejado por la mitad de los tornillos no colocados todavía, roscaríamos y apretaríamos las nuts y ferrulas junto con los conductos para los fluidos. Hecho esto, ya podríamos atornillar el resto de los tornillos e instalar las válvulas de aguja (14) y (15). Quedaría colocar el nebulizador (13) a la salida de las dos válvulas anteriores y conectar el manómetro (17) en la posición que más convenga.



En último lugar, tendríamos que realizar el recubrimiento con la lana de roca que sirviera de aislante térmico. Se ha calculado que esto supondría añadir un mínimo de 20mm de espesor a toda la vasija (laterales y bases), así como en las zonas expuestas de los conductos. Sería un procedimiento artesanal (no se muestra) ya que sería cuestión de recortar retales manualmente de una manta de este material que tenemos sobrante en el laboratorio e ir poniendo capas adaptándonos a la geometría.

2.1.3 Tamaño en comparación con el TFG.

Nuestro Trabajo de Fin de Grado (Zayas y Gañán, 2017) perseguía el mismo objetivo que el equipo que presentamos aquí, no obstante, tenía varios inconvenientes y uno de ellos era su voluminosidad, como se puede apreciar en la imagen,



En comparación, del sistema que hemos diseñado se puede decir que

- No requiere del empleo de bombas de alta presión (de HPLC) para dar la presión y tampoco estaría limitado por una presión máxima por debajo de la presión del punto crítico, como si lo estaba el sistema precedente a causa de las bombas.
- Es transportable y es mucho más compacto, tanto por sus dimensiones como por su potencia específica. El sistema antiguo montaba un horno de 1785W, mientras que el nuevo equipo utiliza una resistencia de 2200W. No hay tampoco problemas para alcanzar la temperatura necesaria.
- Es más barato de fabricar que la vía que consideramos inicialmente y que explicamos en el apartado 2.3. Así mismo, soluciona los problemas inherentes de operación del dispositivo precedente (2.3.2).

2.2. Funcionamiento

El equipo está diseñado para operar con dos fases, una de agua líquida (o una solución acuosa) y otra de vapor de agua. Estas dos fases provienen de una misma cantidad de líquido inicial vertido en el interior de la cámara, el cual calentamos externamente para incrementar la temperatura y la presión simultáneamente moviéndonos sobre la línea de cambio de fase. El calentamiento lo realizaríamos con las válvulas de paso cerradas y una vez alcanzadas unas condiciones cercanas al punto crítico, empezáramos a consumir fluido limitándonos a mantener la temperatura dentro de la cámara.

Este epígrafe se centra en estudiar cómo afecta al diseño la evolución de la altura de la entrefase entre los fluidos dentro de la cámara durante la etapa del calentamiento inicial. Durante esta etapa, tendremos que movernos sobre la línea de cambio de fase ya que es indispensable conseguir que coexistan dichas fases y que en ningún caso pase todo a vapor o todo a líquido.

2.2.1 Principios físicos

Hemos empezado dimensionando la capacidad del recipiente bajo los criterios de que tarde bastante tiempo en vaciarse y que no conlleve un tiempo de calentamiento inicial excesivo. Esto se hace teniendo en cuenta que hay dos regímenes de funcionamiento que considerar:

- Etapa de calentamiento inicial, durante la cual las válvulas permanecen cerradas y calentamos todo el contenido del recipiente de una vez con la potencia de la resistencia. Esto nos limita el volumen máximo de fluido a calentar, ya que tenemos una resistencia con una potencia máxima que determina el tiempo de calentamiento.
- Etapa de consumo con las válvulas abiertas, por las que se evacua el fluido en forma líquida y vapor. En particular, con nuestro nuevo dispositivo queremos conseguir la operación más estacionaria posible porque tenemos que solventar los problemas de control e inercia que tenía el sistema de nuestro TFG. De 2.3.2 se desprende que el tiempo de vaciado ha de ser $\gg 1\text{min}$, con lo ponemos que sea del orden de una hora $\Delta t \sim 1\text{h} \gg 1\text{min}$

El volumen interno de fluido que satisface a ambas etapas estimamos que sería $\Delta V \sim 1.5\text{L}$. Para la primera, el cálculo se puede leer en 4.1. Para la segunda es como sigue: tomando como caudal de salida de diseño el propio caudal de trabajo de las bombas de hplc que teníamos $q = q_{\text{vapor}} + q_{\text{liq}} \sim 10\text{mL/min} + 10\text{mL/min} \sim 25\text{ mL/min}$, nos da una capacidad de fluido del orden de $\Delta V \sim 1.5\text{L}$

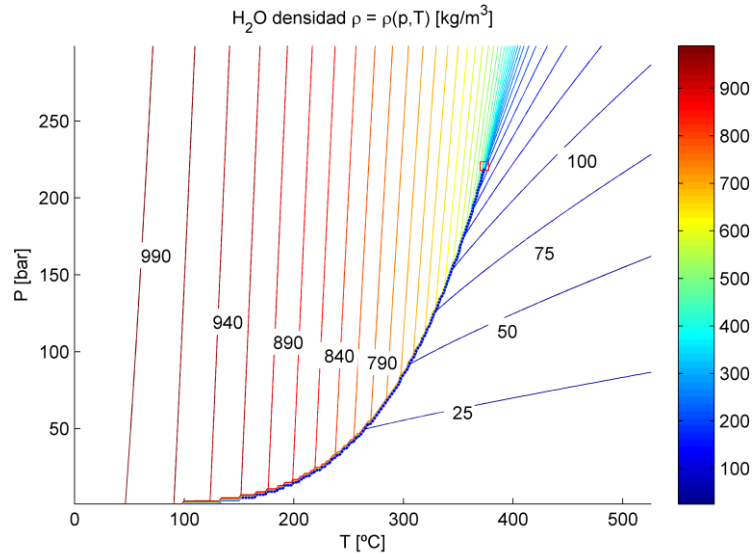
$$q \sim 25 \frac{\text{mL}}{\text{min}} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1.5\text{L}}{1\text{h}}$$

En definitiva, aproximamos el dispositivo como un recipiente cerrado en el que coexisten las dos fases en cualquiera de las etapas de operación. La etapa de calentamiento inicial, por ser más limitante en cuanto a la potencia necesaria, va a ser en la que nos centremos. Esta fase sigue el proceso siguiente,

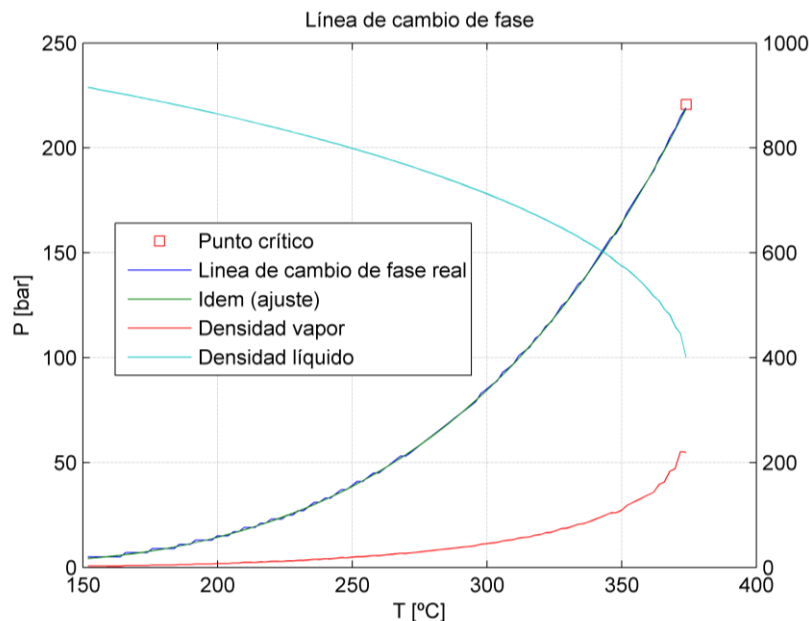
- Inicialmente llenamos de agua líquida a presión y temperatura ambiente hasta una cierta altura.
- Al calentar el líquido una parte empieza a evaporarse. Empiezan a coexistir vapor y agua líquida con una entrefase por gravedad.

- La cantidad de aire inicial la dejamos salir abriendo y cerrando la válvula de alivio brevemente, para que la región superior de la cámara la ocupe el vapor completamente.
- Dejamos que coexistan fase líquida y vapor de manera que al aumentar la temperatura T conocemos inmediatamente la presión P ya que nos movemos sobre la línea de fase. Para evitar que el líquido inicial pase todo a vapor al aumentar T o que solo haya líquido por la dilatación que sufre este también al aumentar T , hay que calcular la cantidad de líquido inicial adecuada.

Para conocer la evolución de las densidades de líquido y vapor, hemos empleado para los cálculos las tablas termodinámicas del agua pura, ya que no tenemos tablas específicas de la solución de NaCl en agua en nuestro rango de estudio. En particular, necesitamos la función de la densidad del agua $\rho = \rho(P, T)$ que tenemos como una función en MATLAB,



Si nos movemos sobre la línea de cambio de fase, conocemos las densidades del líquido y el vapor como una función exclusiva de la temperatura; solo tenemos que desplazarnos sobre la línea y tomar los valores de densidad inmediatamente a la izquierda y a la derecha de la misma, $\rho_l = \rho(P, T - \delta T)$ (líquido) y $\rho_g = \rho(P, T + \delta T)$ (vapor). Evidentemente tienden al mismo valor al acercarnos al punto crítico.



Estas son las funciones $\rho_l(T)$, $\rho_g(T)$ que emplearemos y con las que trabajaremos en MATLAB.

2.2.2 Evolución de los volúmenes líquido y vapor.

Si vertimos dentro del recipiente una cierta cantidad de agua líquida (en condiciones ambiente) conocemos la masa inicial de agua en el sistema,

$$\text{Masa inicial de agua} \approx 1.5L \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} = 1.5 kg = m_0$$

Aplicando el principio de conservación de masa al volumen de control V (más abajo)

$$\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t} dV + \int_S \rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dS = 0,$$

donde tenemos que en la etapa de calentamiento inicial permanecen las válvulas cerradas, por tanto

$$\int_S \rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dS = 0.$$

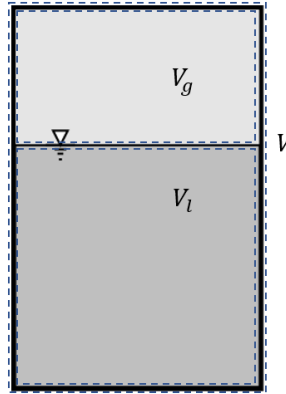
Pero además como en la etapa de consumo el volumen del fluido total (líquido + vapor) $V \sim 1.5L$ va a ser mucho mayor que el volumen evacuado en tiempos característicos del orden del tiempo de residencia del líquido en el conducto, del orden de varios segundos ($q \sim 25$ mL/min), hacemos la aproximación cuasi-estacionaria, con

$$\int_S \rho(\vec{v} \cdot \vec{n}) dS \approx 0,$$

por lo que para los dos regímenes (calentado y descarga) se tiene:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV \approx 0$$

El agua líquida y el vapor están separados por una interfase por gravedad, luego podemos distinguir dos volúmenes de control V_l y V_g que irán cambiando de tamaño a medida que varía las densidades,



Por tanto,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_l+V_g} \rho dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_l} \rho dV + \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_g} \rho dV = 0$$

Suponiendo que la densidad es uniforme en cada volumen de control nos lleva a que

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{V_l} \rho dV + \int_{V_g} \rho dV \right) = 0 \rightarrow \rho_l V_l + \rho_g V_g = cte = \text{masa inicial}$$

$$m_0 = \rho_l V_l + \rho_g V_g$$

A lo que hay que añadir la ecuación del volumen total

$$V_l + V_g = V_{cam} = 1.5L$$

Combinando las dos ecuaciones y dividiendo por la cantidad de líquido inicial V_{l_0}

$$\frac{m_0}{V_{l_0}} = \rho_l \frac{V_l}{V_{l_0}} + \rho_g \frac{(V_{cam} - V_l)}{V_{l_0}}$$

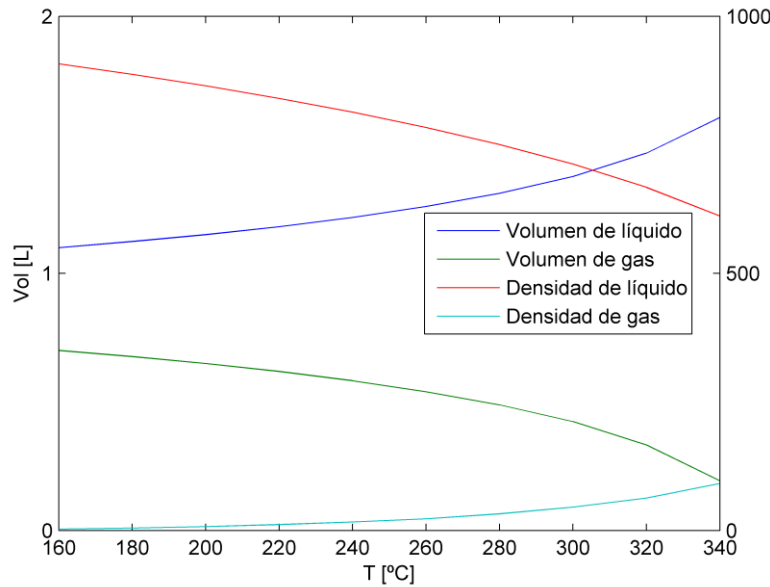
Donde notemos que $\frac{m_0}{V_{l_0}} = \rho_0 = 1000 \frac{kg}{m^3}$ y si además reorganizamos tenemos

$$\rho_0 = \left(\rho_l(T) - \rho_g(T) \right) \frac{V_l}{V_{l_0}} + \rho_g(T) \frac{V_{cam}}{V_{l_0}}$$

De donde despejando V_l podemos conocer el volumen que ocupa el líquido para cada temperatura a la que se encuentren las fases (y restando, tenemos V_g),

$$V_l(T) = \frac{\rho_0 - \rho_g(T) \frac{V_{cam}}{V_{l_0}}}{\frac{\rho_l(T) - \rho_g(T)}{V_{l_0}}}$$

Para visualizar la ecuación, si ponemos por ejemplo un volumen de cámara de $V_{cam} = 2L$ y una cantidad de líquido inicial $V_{liq_0} = 1L$ y empezamos a calentar desde temperatura ambiente hasta los $340^\circ C$ (cerca de los $374^\circ C$ de PC) la evolución de los volúmenes $V_l(T)$ y $V_g(T)$ según la ecuación anterior serían



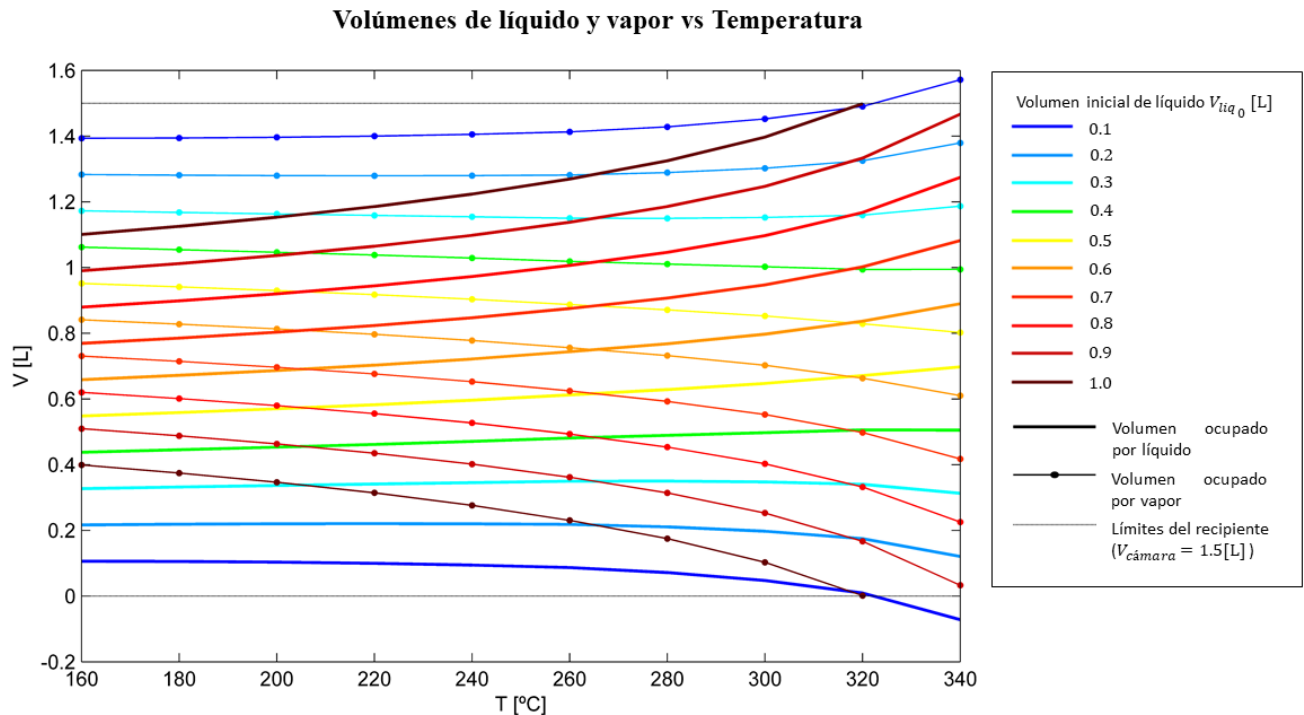
A la vista de esto, podemos sacar las siguientes conclusiones para el dimensionado:

- Parte de la cantidad de líquido que hay inicialmente se evapora y convive con la fase vapor a igual presión y temperatura. A medida que aumenta la temperatura, la fase líquida pierde densidad y aumenta su volumen mientras que la fase vapor aumenta su densidad y se contrae, haciendo que la altura de la interfase crezca dentro del recipiente. Esto implica que la cantidad de líquido inicial no debe ser mayor que un cierto valor ya que la interfase podría subir demasiado y hacer que el líquido ocupara todo el volumen de la cámara ocasionando riesgo de reventar el recipiente al aumentar drásticamente la presión.
- En base a la gráfica anterior, el volumen de cámara mínimo que no hace rebosar el líquido será el volumen que ocupa éste a la temperatura objetivo $V > V_l(T_f \approx 340^\circ C) = 1.8L$. Como conclusión, para un recipiente dado tenemos que verter agua líquida como mucho para que inicialmente ocupe una fracción determinada del volumen total de cámara.

Finalmente, veamos cómo afectan estas conclusiones a nuestro dimensionamiento. Si tomamos nuestro volumen de cámara de diseño de $V_{cam} = 1.5L$, podemos estimar qué cantidades de agua líquida inicial $V_{liq_0}[L]$ hacen que o bien pasa todo a vapor o bien pasa todo a líquido (en los dos casos, a partir de una cierta

temperatura).

Para ello hemos hecho los cálculos barriendo en volúmenes de líquido inicial $V_{liq_0} = \{0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1\}$ [L] véase



A la vista de estas gráficas, se concluye que

- Para el volumen de cámara de diseño de $V_{cam} = 1.5$ L si vertemos una cantidad inicial de líquido $V_{liq_0} \leq 0.1$ L, todo el volumen en forma líquida pasaría a vapor a una temperatura de unos 320°C. Por tanto, a partir de aquí tendría que detenerse el funcionamiento del dispositivo.
- Para volúmenes iniciales de líquido entre (0.1 y 0.9) L, no habrá ninguna temperatura en el rango de operación para la que predomine ninguna de las dos fases.
- Para el volumen de cámara de diseño de $V_{cam} = 1.5$ L si vertemos una cantidad inicial de líquido $V_{liq_0} \geq 0.9$ L, todo el volumen de líquido se expandiría hasta ocupar la totalidad del volumen de cámara al llegar a unos 320°C. Por tanto, a partir de aquí tendría que detenerse el funcionamiento del dispositivo.

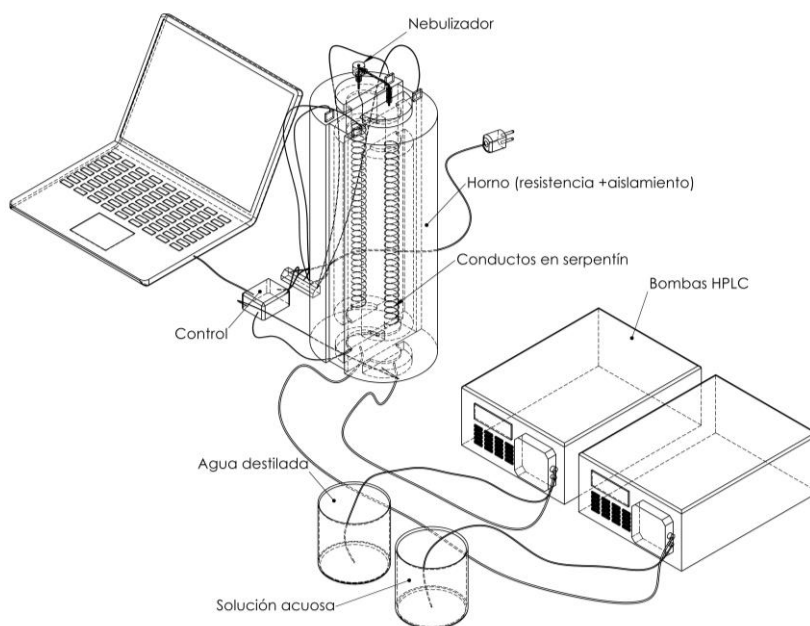
2.3. Dispositivo precedente

En este apartado desarrollamos la vía que teníamos pensado seguir inicialmente en este TFM para mejorar nuestro TFG y solucionar los problemas que presentaba. Evidentemente la solución propuesta finalmente es completamente distinta porque se vio que con la configuración precedente era inviable continuar. No obstante, las conclusiones aquí alcanzadas han sido clave a la hora del diseño y dimensionamiento del nuevo dispositivo.

2.3.1 Recordatorio de la configuración

En primer lugar, recordemos el equipo experimental que ensamblamos en nuestro TFG (Zayas y Gañán. 2017). El objetivo de este era el mismo: producir dos corrientes una líquida y otra vapor en condiciones cercanas al punto crítico e introducirlas en el nebulizador para producir el chorro de nanopartículas.

Como se observa en la imagen, para dar la presión a las dos corrientes, se hacía uso de dos potentes bombas de HPLC, una de hasta 21.6MPa y otra de hasta 15MPa, alimentando cada una un circuito independiente (uno para vapor y otro para la solución acuosa líquida).



El calentamiento tenía lugar en los tramos de conducto en forma de serpentín que discurrían por dentro de un gran horno vertical de 1785W de potencia que los calentaba por radiación.

Asimismo, el control era bastante bueno al poder mantener la temperatura automáticamente desde el portátil con ayuda de un Arduino y poder fijar los caudales directamente en las bombas.

2.3.2 Problemas encontrados

Los problemas fundamentales que se encontraron al operar el dispositivo construido en nuestro TFG fueron:

- Falta de presión en el dispositivo, ya que se encontraba limitado su funcionamiento por la bomba Knauer de $p_{max} = 15\text{MPa}$. Esto dio lugar a que las muestras examinadas posteriormente en microscopio electrónico de barrido presentaran un tamaño muy superior al nanométrico, en definitiva porque la presión de operación se encontraba muy alejada de las del punto crítico (22.064 MPa). Además, dada la inercia del sistema, se producían tras pocos minutos de operación escaladas de presión que sobrepasaban los valores máximos de las bombas, las cuales cortaban el caudal a los 2-3min por sobrepresión.
- Inercia del sistema. Para controlar el caudal de las corrientes líquida y de vapor había que fijar su valor en mL/min en las propias bombas. El problema era que ambas bombas se encontraban aguas arriba de las resistencias. Por lo tanto, el fluido se calentaba después de pasar por la bomba correspondiente y esto hacía que, incluso parando el funcionamiento de las bombas, la dilatación producida por el horno aguas abajo sobre las corrientes de líquido causaba grandes variaciones de caudal. En consecuencia, era muy difícil conocer en qué condiciones funcionaba el dispositivo realmente, las cuales determinaban el resultado de las medidas de las muestras que se tomaban. En pocas palabras, el control del sistema se tenía que hacer tanteando artesanalmente hasta que se conseguía alcanzar una situación de estabilidad, lo cual entrañaba enormes dificultades porque el sistema por sí mismo tenía mucha incertidumbre e inestabilidades inherentes.
- Al no poder operar de forma continua durante más de 2-3 minutos, la temperatura de los conductos (sobre todo una vez que salen de horno) no llegaba a estabilizarse, por lo que enfriaba o calentaba el flujo del conducto dependiendo de su estado térmico anterior. Por tanto, influían también en la nebulización final sin el control del usuario, y daba muy poco tiempo a estabilizar el sistema y tomar

muestras.

- Nebulización intermitente. Debido a que las bombas eran accionadas por pistones se podía apreciar a simple vista como su frecuencia de funcionamiento influía en el nebulizador, que operaba de forma pulsante.

2.3.3 Propuesta inicial.

La primera vía que barajamos seguir en este TFM era reemplazar las dos bombas de HPLC originales por otras dos del mismo modelo capaces de dar mayor presión para alcanzar las condiciones críticas de forma inequívoca y con total holgura. Necesitábamos así mismo que las dos bombas tuvieran exactamente el mismo funcionamiento.

Basándonos en la experiencia recabada en el desarrollo del TFG, para este TFM se ha pedido presupuesto de bombas de HPLC a las marcas que conocíamos, Knauer y Shimadzu, para realizar la sustitución. Presentamos a continuación toda la información recabada de las diferentes bombas sobre las que hemos pedido presupuesto y sus especificaciones más importantes,

- BlueShadow Pump 80P (APD20K, Knauer)

- Rango de caudal 1-1000 mL/min
- Rango de Presión Máxima 5 – 7.5 MPa
- En acero inoxidable o titanio.
- Precio/ud. 12.296,00 € (inoxidable) / 12.400,00 € (titanio)
- Proveedor en España, Gomensoro



- AZURA P 4.1 S (Knauer)

- Rango de caudal 0.001-10 mL/min
- Rango de Presión Máxima 35 MPa
- Cabezal de bomba de acero inoxidable.
- Precio/ud. 4.563,00 €
- Proveedor en España, Gomensoro



- LC 20 AD (Shimadzu)

- Rango de caudal/ presión máxima (escalonado) 0.0001-5 mL/min [1.0- 40 MPa] y 5.0001- 10 mL/min [1.0- 20 MPa]
- Es la evolución de la bomba Shimadzu que teníamos en el laboratorio, la LC-10AD.
- Precio/ud. 4.818,53 €
- Proveedor en España, Izasa Scientific



- AZURA P 6.1 L (Knauer)

- Rango de caudal 0.001-10 mL/min
- Rango de Presión Máxima 40-75 MPa
- Cabezal de 50mL disponible (a costa de tener menos presión máxima).



- Precio/ud. 7.765,00 €
- Proveedor en España, Gomensoro

Las características de funcionamiento de las bombas anteriores, como para toda máquina hidráulica, suelen darse en forma de rangos de caudal y presión. Por ejemplo, para la AZURA P 4.1S el rango de caudal es de 0-10 ml/min. Si trabajamos de 0-5 ml/min podemos regular la presión máxima entre 0-40 MPa. Sin embargo, si trabajamos a flujos superiores a 5 ml/min, la presión máxima que podemos alcanzar es de 20 MPa.

En la página web de la firma Knauer se da más detalle de la relación caudal-presión máxima de cada bomba, pero siempre es una ley escalonada, no siguiendo una curva en particular, como se nos aseguró hablando con técnicos de Gomensoro.

- Conclusión. El desembolso que supondría comprar dos bombas como las anteriores sería como mínimo de 9.126,00 € si adquiriéramos la más barata, la AZURA P 4.1 S. Se sacan dos conclusiones al respecto,
 - Esto es un desembolso del orden de tres veces el necesario para la solución que se ha propuesto en este TFM.
 - El sistema no resuelve los problemas inherentes de control por estar las bombas aguas arriba de los hornos, como se ha descrito anteriormente. Las inercias del sistema seguirían presentes, con lo que habría un claro riesgo de que no funcionara bien (evidentemente, las bombas no se pueden colocar aguas abajo de los hornos). Por tanto, no hay garantía de que el equipo funcione mejor a pesar de este desembolso.

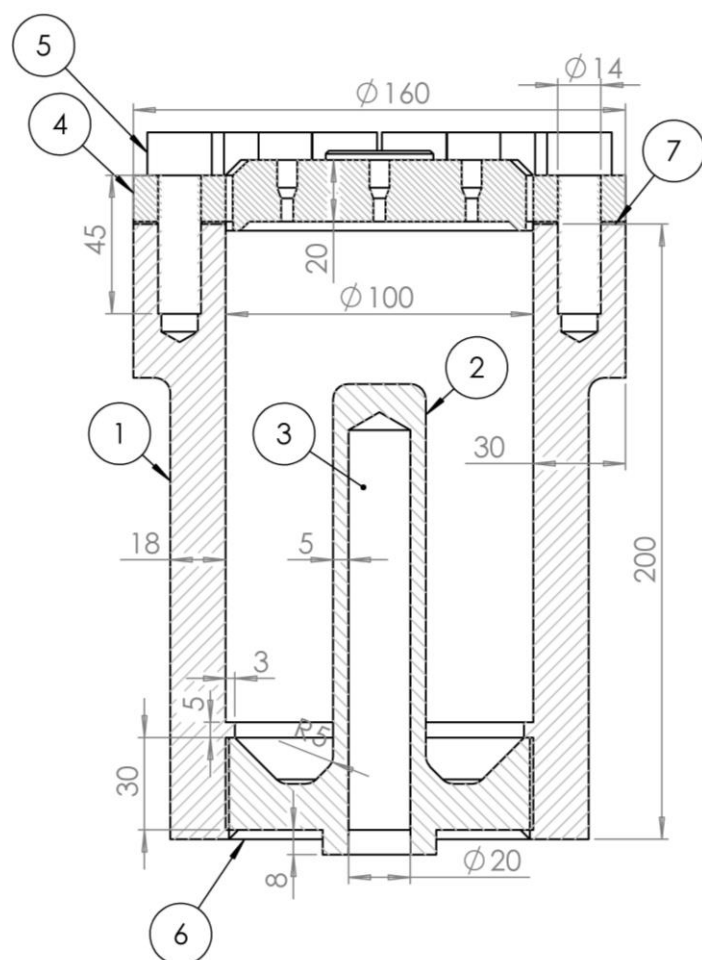
En definitiva, la vía de reemplazar las bombas por otras de mayor presión se ha descartado porque las mejoras no compensarían el coste, pudiéndose probar una vía más barata y aparentemente más prometedora como la de este TFM.

3 LA VASIJA

En este capítulo exponemos el cálculo justificativo y el diseño de las partes principales del recipiente en torno al que se constituye nuestro dispositivo. La solución a la que se ha llegado ha sido el resultado del dimensionamiento teórico de las diferentes piezas (tomando como referencia las normas que nos pudieran ayudar y la teoría de la elasticidad) y la realimentación recibida por parte de los técnicos de Sokar, que nos han ido pidiendo modificaciones del diseño para conseguir que fuera fabricable. Este proceso nos ha llevado a obtener un recipiente,

- Sobredimensionado, lo cual es necesario por motivos de seguridad, ya que no se trata solo de un recipiente a presión, sino que funcionaría también a elevada temperatura a semejanza de una olla a presión muy potente. Como podemos estar subestimando el nivel de riesgo que supondría trabajar con tal cantidad de líquido y vapor a $\sim 220\text{bar}$ y $\sim 350^\circ\text{C}$ en un recipiente cerrado, consideramos prudente empezar a operar con un dispositivo suficientemente robusto y optimizarlo una vez se hayan hecho pruebas en el laboratorio y se obtengan resultados con él.
- Simple de fabricar. En el proceso de negociación de la geometría con Sokar nos hemos visto forzados a proponer en vez de un recipiente de una pieza (lo que habría sido ideal para su funcionamiento), un recipiente formado por varias piezas simples. La principal causa de ello habría sido la inaccesibilidad de las herramientas de mecanizado en las cavidades proyectadas, por su profundidad y estrechez.

Presentamos a continuación una sección del subconjunto para una fácil identificación de los componentes y apreciación de las dimensiones características.



	Componente	Peso [kg]	Material
1	Cilindro de la vasija	6.21	AISI 316
2	Vástago	0.87	AISI 316
3	Resistencia de cartucho	0.19	n.a.
4	Tapadera	1.42	AISI 316
5	18 Tornillos M14x2	1.62	Calidad 12.9 (inox)
6	Cordón de soldadura	$\ll 1$	AISI 316
7	Junta sellante	$\ll 1$	Grafito

3.1. Cilindro de la vasija.

3.1.1 Volumen interno.

Comentábamos anteriormente que los principales problemas del sistema de nebulización que construimos en nuestro TFG eran su falta de estacionariedad y su inercia, por todo lo cual no se podían realizar ensayos más allá de unos pocos minutos.

Por esta razón hemos decidido darle al nuevo recipiente un volumen capaz de albergar fluido durante un tiempo ($\Delta t \sim 1h$) suficiente como para poder funcionar de forma estacionaria y poder realizar los ensayos

- Con un mayor tiempo para operar el sistema e ir tomando las muestras con calma, sin tener que reiniciar el dispositivo a los pocos minutos,
- Con más garantías de que las condiciones de presión y temperatura a las cuales realicemos las deposiciones sean efectivamente las que hayamos fijado en el sistema, ya que este habría tenido tiempo para estabilizarse.

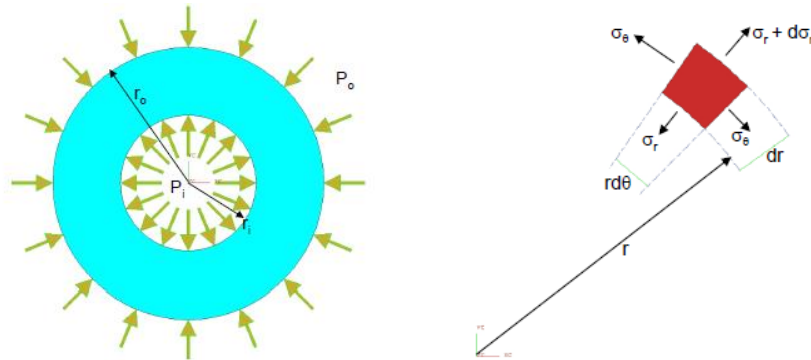
Así pues, en base a los caudales que mueven las bombas de HPLC típicamente, hemos estimado un caudal de funcionamiento de $q \sim 2 \times 10 \frac{mL}{min} \sim 25 \frac{mL}{min}$. Esto nos da un volumen evacuado a lo largo de 1h:

$$V \sim q \cdot \Delta t \approx 25 \frac{mL}{min} \times 1h = 25 \frac{mL}{min} \times \frac{1 min}{60 s} \times 1h \times \frac{3600s}{1h} = 1.5L$$

La capacidad total de fluido en el interior del recipiente final y fabricable ha sido de 1.291L, muy similar. La máxima cantidad de líquido inicial deberá ser reducida también proporcionalmente.

3.1.2 Grosor de las paredes.

Este parámetro de diseño lo hemos estimado en primer lugar empleando las ecuaciones de Lamé para cilindros huecos de pared gruesa, que resuelven un problema clásico de la Teoría de la Elasticidad (París, 2000). Estas nos permiten determinar de forma aproximada las tensiones radial, tangencial y vertical ($\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$) que van a soportar las paredes de un cilindro hueco de radios exterior r_o e interior r_i sometido a presión interna p_i y externa p_o a lo largo del espesor de la pared,



Si definimos las variables adimensionales $\eta = r_i/r_o$ y $\psi = r/r_o$, las tensiones quedan como función de todos parámetros físicos anteriores y como función del radio r sobre el que nos encontremos,

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{\eta^2 p_i - p_o}{1 - \eta^2} - \frac{(p_i - p_o)\eta^2}{(1 - \eta^2)\psi^2} \\ \sigma_\theta &= \frac{\eta^2 p_i - p_o}{1 - \eta^2} + \frac{(p_i - p_o)\eta^2}{(1 - \eta^2)\psi^2} \\ \sigma_z &= -\frac{p_o - p_i \eta^2}{1 - \eta^2}\end{aligned}$$

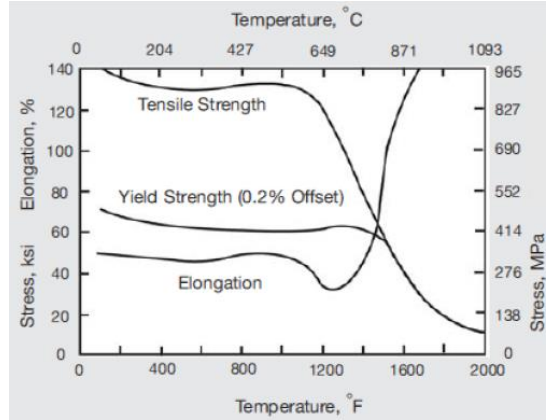
Consideramos las paredes del cilindro sometidas a la presión de trabajo, para lo cual se han de computar

estas tensiones de forma que el valor de la tensión equivalente de Von Mises, σ_{VM} , sea menor que el límite elástico del material

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_\theta - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2)} < \sigma_{YS} \approx 900 \text{ MPa},$$

donde se ha tomado para Inconel y aceros $\sigma_{YS} \sim 900 \text{ MPa}$ ya que las propiedades mecánicas del material cambian poco con la temperatura en nuestro rango de trabajo que llega como mucho a unos 350°C , como se extrae de la tabla proporcionada por Precision Castparts (2018),

Propiedades del Inconel 625



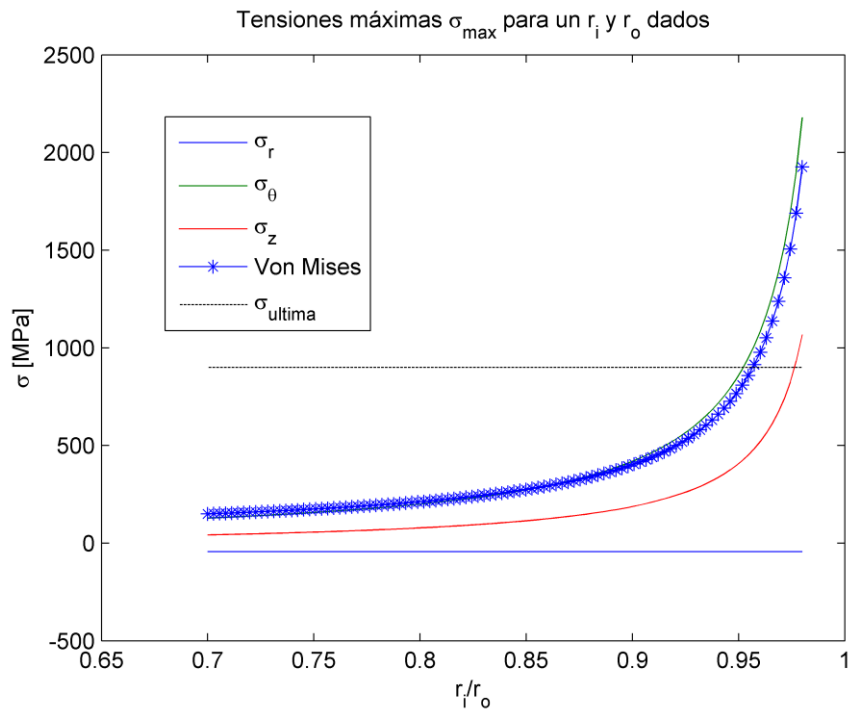
Por seguridad, vamos a dimensionar el grosor de las paredes para que resistan la presión del punto crítico del agua de 22.064 MPa con un factor de seguridad de $FS = 2$,

$$FS = 2$$

$$p_i = 22.064 \text{ MPa} * 2 \approx 44 \text{ MPa}$$

$$p_o = 101325 \text{ Pa}$$

Se puede demostrar que la tensión máxima a lo largo del espesor r se alcanza para el radio de la cara interior $r = r_i$, por tanto, cuando $\psi = \eta$. Si para este caso (como es el más crítico) representamos las diferentes tensiones en función de la relación entre el radio interior y exterior del recipiente $\eta = r_i/r_o$ tenemos,

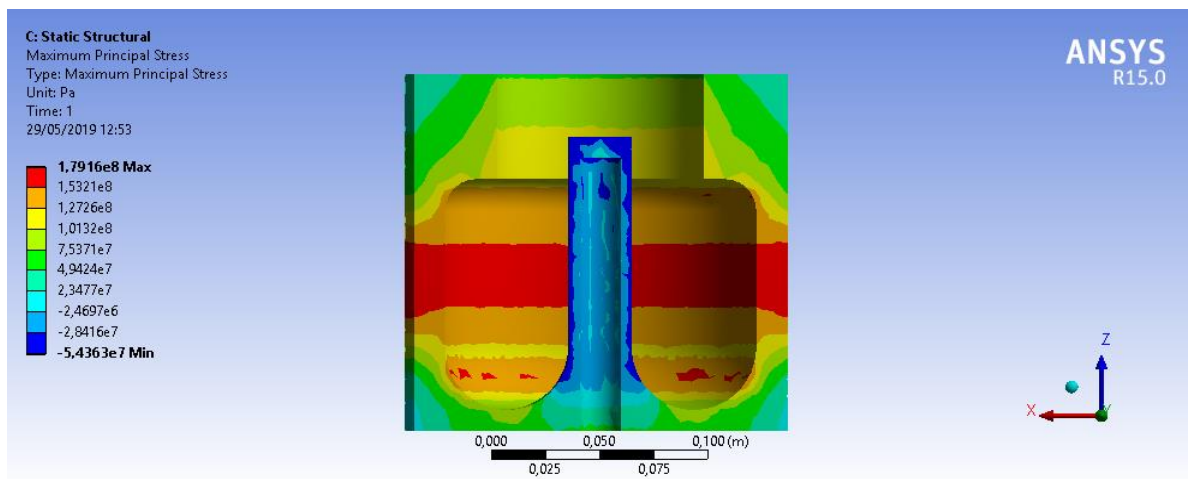


Podemos sacar las conclusiones siguientes,

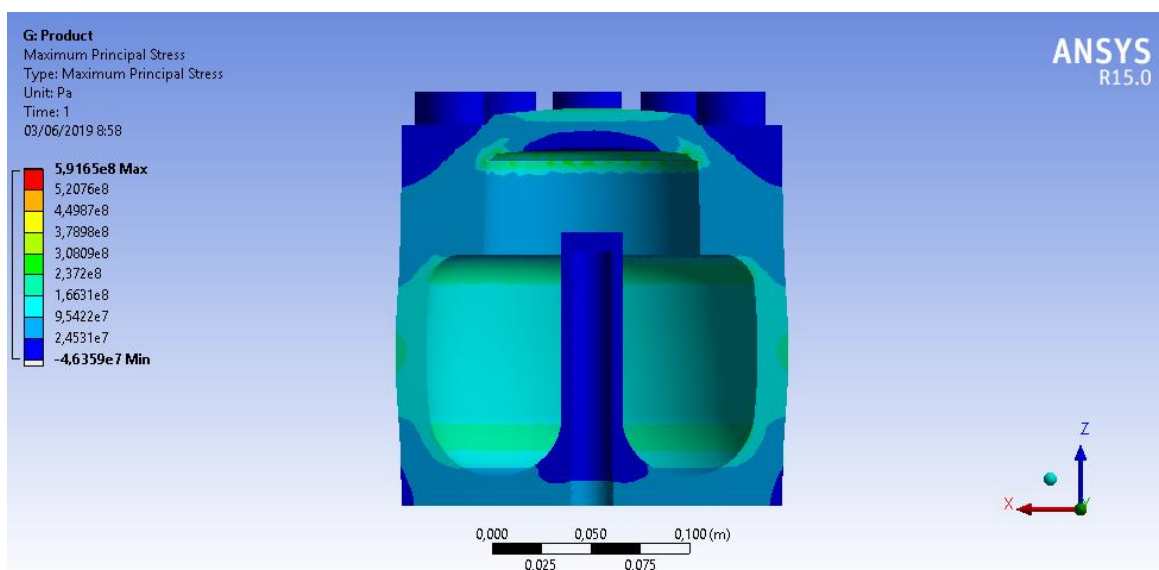
- Para cualquier r_i/r_o menor de 0.95, $\sigma_{VM} < \sigma_{ultima}$ y es por tanto aceptable.
- Relaciones r_i/r_o menores significan espesores mayores, por tanto, más material y tiempo invertido a la hora del calentamiento inicial del fluido. No obstante, a partir de $r_i/r_o < 0.7$ vemos que la resistencia del recipiente no mejora significativamente.
- Nos interesan por tanto relaciones $r_i/r_o \sim 0.85, 0.9$ menores de 0.95, pero nos darán espesores lo más delgados posible que resistan la presión interna del recipiente. Para estos valores la tensión equivalente de von Mises se sitúa en torno a los 400 MPa.

Para contrastar los resultados anteriores hemos simulado varios modelos posibles ANSYS con las condiciones anteriores y relaciones de espesor del orden 0.85-0.9, una presión interior $p_i \approx 40\text{MPa}$ y una presión exterior $p_o \approx 1\text{bar}$,

- Un primer modelo de la vasija sin tapadera, en el que apreciamos con claridad la tensión equivalente de von Mises máxima que es del orden de 180 MPa, a su vez son del orden de la mitad de las estimadas por la vía analítica,



- El mismo modelo de vasija con su tapadera colocada y habiéndose modelado la unión como una unión perfecta podemos ver que, nuevamente, aproximadamente a media altura del cilindro (deformaciones exageradas) se alcanza la tensión máxima del orden de los 200 MPa.



En definitiva, por elementos finitos vemos que la tensión equivalente de von Mises máxima es del orden de los 200 MPa para una relación $r_i/r_o \approx 0.9$ mientras que analíticamente lo son del orden de 400 MPa. Por lo tanto, hemos dado por seguras las estimaciones y tomamos como criterio de diseño: $r_i/r_o \approx 0.9$ para un factor de seguridad de $FS = 2$, pudiéndose adelgazar aún más el espesor si fuera necesario.

3.1.3 Tornillería y diámetro interno.

Se ha decidido que el recipiente tenga una tapadera superior desmontable por las siguientes razones:

- A fin de que el dispositivo sea manejable y accesible a la hora de colocar las entradas o examinar en estado del interior de la vasija periódicamente y ver si se encuentra corroída o en buen estado.
- Para poder instalar una tapadera diferente en caso de que sea necesario reemplazar las entradas por un fallo del dispositivo o por mejorar su funcionamiento reemplazando ciertas entradas/salidas.
- Por fabricabilidad, ya que el recipiente debe construirse por partes.

El diámetro interior que puede tener el cilindro de la vasija vendrá determinado por la tornillería de fijación de la tapadera, ya que el tamaño de las cabezas de los tornillos fija las dimensiones de la corona que conforman estos tornillos. El tamaño de esta corona se puede reducir de dos formas:

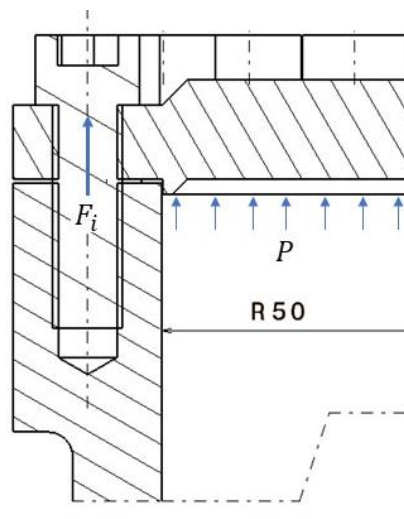
- Empleando menos tornillos de mayor métrica, a costa de aumentar el grosor de la vasija en la zona superior para poder atornillarlos, o
- Empleando más tornillos de menor métrica.

Para establecer la métrica necesaria se ha recurrido a la VDI 2230 Part I (Asociación de Ingenieros Alemanes - Verein Deutscher Ingenieure-, 1986), la norma alemana para el cálculo sistemático de uniones atornilladas. Empleamos los pasos de la norma (extracto en anexo 8.1) dedicada a las uniones en recipientes presurizados.

1. Estimamos una carga de diseño F_A con un coeficiente de seguridad $FS = 1.5$. Esta carga es aproximadamente la que sufre el área inferior A de la tapadera de la vasija expuesta al vapor,

Su valor es,

$$F_A = P_{cr} \cdot A \cdot FS = 22.064 \text{ MPa} \cdot 1.5 \cdot \frac{\pi}{4} (100\text{mm})^2 = 259.9 \text{ kN}$$



Tras un tanteo, se concluye que el número de tornillos $i = 20$ es razonable. Por tanto, la carga por tornillo,

$$F_i = \frac{F_A}{i} = 12,996.8 \text{ N} \approx 13 \text{ kN}$$

Así mismo, el diámetro del área interior de 100mm es el empleado en la versión final del dispositivo

ya que

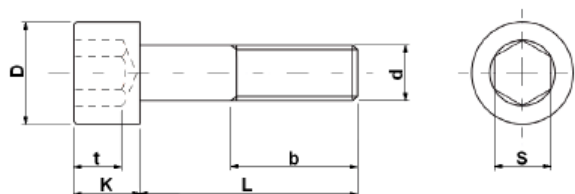
- Permite instalar las entradas/salidas empleadas sin colisionar entres sí (la elección de estas entradas se explicará posteriormente)
- La fuerza F_A a que da lugar la presión interna es suficientemente reducida como para poder resistirla una corona de tornillos de diámetro similar (con la métrica adecuada) sin aumentar excesivamente el diámetro total del recipiente.

2. Procedimiento tabla 7 de la VDI 2230 Parte I,

- Seleccionamos la menor carga de la columna 1 que sea mayor que la carga actuante F_i (16,000 N)
- Incrementamos el valor de la carga dada por la columna 1 en 1 nivel por estar la carga aplicada de forma excéntrica al eje del recipiente (25,000 N)
- Incrementamos la carga nuevamente en 2 niveles por el apriete, que en nuestro caso al ser manual no coincide con ninguno de los métodos apriete dados por la norma. Elegimos el máximo de 2 niveles por seguridad, resultando $F_{i_{max}} = 63,000$ N.
 - Conclusión, son aceptables 20 tornillos de M12 con calidad 12.9, de M14 10.9 o 16 8.8.

1	2	3	4
Load in N	Nominal diameter in mm		
	Strength grade		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1000			
1600	3	3	3
2500	3	3	4
4000	4	4	5
6300	4	5	5
10000	5	6	8
16000	6	8	8
25000	8	10	10
40000	10	12	14
63000	12	14	16
100000	16	16	20
160000	20	20	24
250000	24	27	30
400000	30	36	
630000	36		

- Finalmente, para un fácil montaje hemos decidido instalar 18 en vez de 20 tornillos y por seguridad incrementamos la métrica a M14.



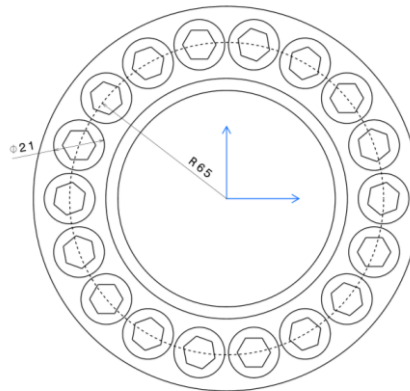
Las dimensiones para la métrica M14 las da la norma DIN 912 en la siguiente tabla.

Métrica d	M-3	M-4	M-5	M-6	M-8	M-10	M-12	M-14	M-16	M-18	M-20
Paso	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	2,5	2,5
b	18	20	22	24	28	32	36	40	44	48	52
D	5,5	7	8,5	10	13	16	18	21	24	27	30
K	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
S	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	14	17
t	1,3	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10

La solución comercial la encontramos finalmente en una tornillería especializada (Tornillería Ocma), cuya oferta ha sido

- Tornillos de cabeza cilíndrica “Allen” DIN 912 de calidad 12.9 M14x2, L45mm. (1,70€/ud).

4. Finalmente hemos comprobado que no colisionan los tornillos en el modelo CATIA del producto, manteniendo una holgura entre ellos en la corona y siendo el radio de esta corona de 65mm, no excesivo si lo comparamos con los 50mm del radio interno del recipiente, como se ve en la imagen,



3.1.4 Selección del material.

La elección del material venía determinada por los problemas de corrosión previstos dentro de la vasija al calentar el líquido, que para los ensayos tendría que ser una solución acuosa de NaCl. Una combinación de resistencia mecánica y a la corrosión suficiente nos ha obligado a descartar metales como el cobre o el aluminio, que serían baratos y fáciles de mecanizar, y a recurrir a materiales más nobles. Las opciones que se han barajado han sido las siguientes:

- Inconel (625).

Su composición química le permite soportar una amplia variedad de ambientes corrosivos como son todo tipo de soluciones acuosas de sales neutras, medios alcalinos, ácidos nítricos o ácidos basados en cloro. La resistencia a la oxidación la aportan el níquel (~60%) y el cromo (~20%) mientras que el molibdeno (~10%) previene la corrosión por picadura y corrosión intergranular. Asimismo, el alto contenido en níquel previene la corrosión bajo tensión. Puede leerse su composición típica proporcionada por Precision Castparts (2018),

Nickel.....	58.0 min.
Chromium.....	20.0-23.0
Iron.....	5.0 max.
Molybdenum.....	8.0-10.0
Niobium (plus Tantalum).....	3.15-4.15
Carbon.....	0.10 max.
Manganese.....	0.50 max.
Silicon.....	0.50 max.
Phosphorus.....	0.015 max.
Sulfur.....	0.015 max.
Aluminum.....	0.40 max.
Titanium.....	0.40 max.
Cobalt ^a	1.0 max.

Por otro lado, las propiedades mecánicas del Inconel son más que suficientes para nuestra aplicación, siendo del orden de las del acero y no variando significativamente hasta los 600°C

- Acero inoxidable 316

Es la aleación que junto con el 317 constituye la mejor opción de entre los aceros inoxidables para resistir la exposición a agua y atmósfera salinas con la que se encontraría la vasija en nuestra aplicación. Como todos los inoxidables, la resistencia a la corrosión viene de su alto contenido en cromo (en este caso mayor de lo normal, 16%) que crea una capa de óxido de cromo Cr₂O₃ sobre su superficie al entrar en contacto con el oxígeno del ambiente. A diferencia de las otras aleaciones austeníticas, en el 316 y 317 se añade molibdeno (2%) que se ha comprobado que les permite resistir incluso en ambientes marinos con organismos y objetos sólidos adheridos a su superficie. En nuestro caso, como se prevé que la superficie expuesta se encuentre limpia y lisa en todo momento, el riesgo de corrosión, por ejemplo por picaduras, sería nulo con la composición del 316, como se le

del extracto de las tablas técnicas de Irestal Group (2019),

AUSTENÍTICO			
Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno			
316	316 S	316 L	316 Ti
C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 10,0014,00 Mo%2,02,50	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 12,0014,00 Mo%2,503,00	C% 0,03 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 10,0014,00 Mo%2,002,50	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 10,0014,00 Mo%2,002,50 Ti5xC%0,80

- Incoloy. Lo hemos visto mencionar en catálogos como recubrimiento protector en resistencias de inmersión para baños químicos. Es otro conjunto de aleaciones a base de níquel, hierro y cromo. Se caracterizan por una buena resistencia a la corrosión en ambientes acuosos y por su excelente resistencia a la oxidación en atmósferas a alta temperatura. El contenido de níquel logra que la aleación sea superior al acero inoxidable en la resistencia a la corrosión, especialmente a la debida por iones de cloro y corrosión bajo tensión.

La elección final ha sido

Acero inoxidable 316

Y ésta ha venido determinada por los siguientes factores,

- Disponibilidad del material impuesta por Sokar Mechanics. En particular se nos dijo que el empleo de aleaciones de níquel (como Inconel) y aleaciones de titanio debía realizarse bajo encargo con aproximadamente un año de antelación para volúmenes de material como el que estábamos manejando (plazos propios de una empresa). Aunque en Sokar trabajan el Inconel lo suelen reservar para piezas de reducido tamaño que pueden mecanizar a partir de preformas pequeñas que tengan en almacén. Por tanto, habría sido imposible emplear Inconel para este proyecto.
- Así mismo el Inconel por sus propiedades mecánicas se nos dijo que su mecanizado, sobre todo en tal cantidad, solo se puede realizar en torno ya que es muy difícil fresarlo. Esto es así porque se requeriría desbistar gran cantidad de material y los tiempos de mecanizado se dispararían al tenerse que emplear velocidades de avance bastante reducidas para este material.
- Finalmente, se nos ha ofrecido la fabricación en acero inoxidable 316 el cual está plenamente disponible para Sokar. Es el material con el que se fabrican la mayor parte de las entradas/salidas y piezas del dispositivo, con lo que podemos esperar un buen comportamiento del conjunto ante dilataciones al ser casi todo del mismo material. Por otro lado, este material está comprobado empíricamente que tiene buena resistencia a la corrosión ya que eran numerosas las uniones de VALCO de nuestro TFG realizadas en 316 que resistieron a la operación.

3.2. Vástago

La función del vástago es la de sostener la resistencia eléctrica que calienta el fluido y cerrar por su base la vasija debiendo garantizarse que no se produzcan fugas del fluido mientras el sistema se encuentre en funcionamiento. En su diseño se tiene que considerar principalmente el problema de su resistencia mecánica (ya que debe resistir la elevada presión del interior del recipiente) y de la estanqueidad (ya que cualquier unión roscada es susceptible de fugar). La temperatura podría dar lugar a dilataciones, pero el problema quedaría en principio mitigado al emplearse el mismo material para las dos piezas que sería inoxidable 316.

Para garantizar la resistencia de la unión del vástago con la vasija, se ha decidido emplear conjuntamente dos

técnicas: roscado y soldadura.

3.2.1. Roscado de la base.

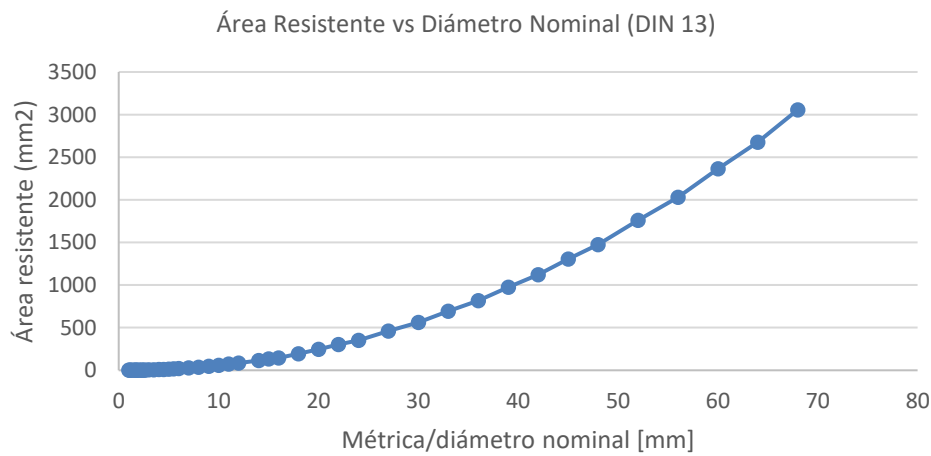
En conversaciones con técnicos de Sokar, se nos ha propuesto roscar exteriormente la base del vástago con un paso fino de 1.5 o 2mm para dotar a la unión de la máxima resistencia posible al aplicarse la carga concéntrica. Por tanto, ha sido necesario hacer una estimación de la fuerza que podría soportar una rosca métrica M100 sometida a la carga derivada de la presión interna del dispositivo.

Para realizar esta estimación no podemos recurrir a la VDI 2230 ya que llega solo hasta la M36. Si asemejamos la unión roscada M100 a un tornillo de dicha métrica, por su elevada sección solo podemos recurrir a normas de diseño estructural. Hemos recurrido al código técnico para seguridad estructural para edificación del Ministerio de Fomento (2015), el cual para aceros nos remite al Documento Básico de Seguridad Estructural para Aceros DB-SE-A.

En el DB-SE-A nos da una fuerza máxima que puede soportar el tornillo $F_{t_{R_d}}$ a partir de la sección resistente de la parte roscada A_s (que obtenemos en función su métrica de otra norma), la tensión última del material de los tornillos f_{ub} (de unos 900 MPa para acero e Inconel) y el coeficiente parcial de seguridad γ_{Mb} (que la norma establece en 1.25),

$$F_{t_{R_d}} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{Mb}}$$

Nuestra única dificultad radica en que la sección resistente A_s . Este valor aparece en las tablas de la norma DIN 13 para todas las métricas hasta la M70. Para estimar el área resistente de la M100 hemos representado el área resistente que da la DIN 13 frente a la métrica de los tornillos y escrito una ley aproximada,



La ley a la cual se aproximan los valores de la gráfica es

$$A_s[mm^2] \approx 0.4983 \cdot (D[mm])^{2.0678}$$

Por lo que podemos extrapolar un valor de área resistente para un diámetro nominal de M100mm de $0.4983 \times (100[mm])^{2.0678} \approx 6809 mm^2$.

Si calculamos la $F_{t_{R_d}}$ tenemos

$$F_{t_{R_d}} = 0.9 \cdot 900 MPa \cdot \frac{6809 mm^2}{1.25} = 4.412 MN$$

Si comparamos con la fuerza F_A que estimamos que tenía que soportar la corona de tornillos de la tapadera, que será muy similar,

$$F_A = P_{cr} \cdot A \cdot FS = 22.064 MPa \cdot 1.5 \cdot \frac{\pi}{4} (100mm)^2 = 259.9 kN$$

Tenemos que $F_{t_{R_d}} \gg F_A$ con lo que según el DB-SE-A la rosca del vástago de M100 resistiría holgadamente

la presión del interior del recipiente.

3.2.2. Soldadura.

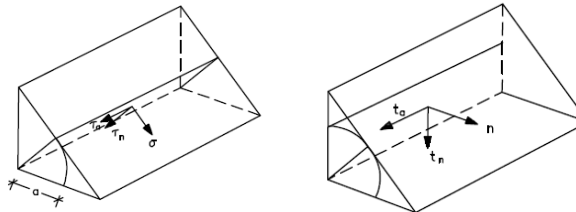
Ha sido necesario incluir en el diseño un cordón de soldadura por dos razones:

- La estanqueidad no quedaría bien resuelta. Si no se soldara, habría que introducir de alguna manera una junta de grafito u otro material sellante (de alta temperatura) lo cual sería impracticable ya que quedaría en contacto con el líquido, estaría expuesto a la corrosión que éste produce, y las dilataciones habría que estudiarlas en detalle para evitar fugas.
- La norma para uniones atornilladas no llega a métrica M100 y hay que recurrir a normativa de construcción como la DB-SE-A, cuyos estándares de seguridad son inferiores a los de ingeniería mecánica, con lo que el solo cumplimiento de aquella no nos ofrece garantías suficientes.

Para el cálculo de cordones de soldadura vamos a recurrir a la normativa NBE EA-95 (Real Decreto 1829/1995, 1996). Con una base experimental, la NBE EA-95 define como condición de seguridad de una soldadura de ángulo (la que vamos a practicar en la base del vástago) que la tensión de comparación σ_c^* obtenida por los cálculos sea inferior a la resistencia última σ_u del acero,

$$\sigma_c^* = \sqrt{\sigma^2 + 1.8 \cdot (\tau_n^2 + \tau_a^2)} \leq \sigma_u$$

Donde las tensiones en ejes principales σ, τ_n, τ_a son

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{\sqrt{2}}(n + t_n) \\ \tau_n &= \frac{1}{\sqrt{2}}(n - t_n) \\ \tau_a &= t_a \end{aligned}$$


Las cuales dependen a su vez de las tensiones t_a, n, t_n en los ejes de la carga, que son las que imponemos en función de cómo se apliquen las fuerzas sobre nuestro cordón de soldadura. Si suponemos que se aplica la fuerza F_A ($FS = 2$) sobre la cara perpendicular a t_n de un cordón de 3mm (aproximadamente) tenemos

$$t_n \approx -\frac{F_A}{\pi D a} = -\frac{259.9 \text{ kN}}{\pi \cdot 100 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}} = -275.8 \text{ MPa}; \quad n = 0; \quad t_a = 0$$

Lo que da lugar a las tensiones

$$\sigma = 1/\sqrt{2}(0 - 275.8) = -195 \text{ MPa}$$

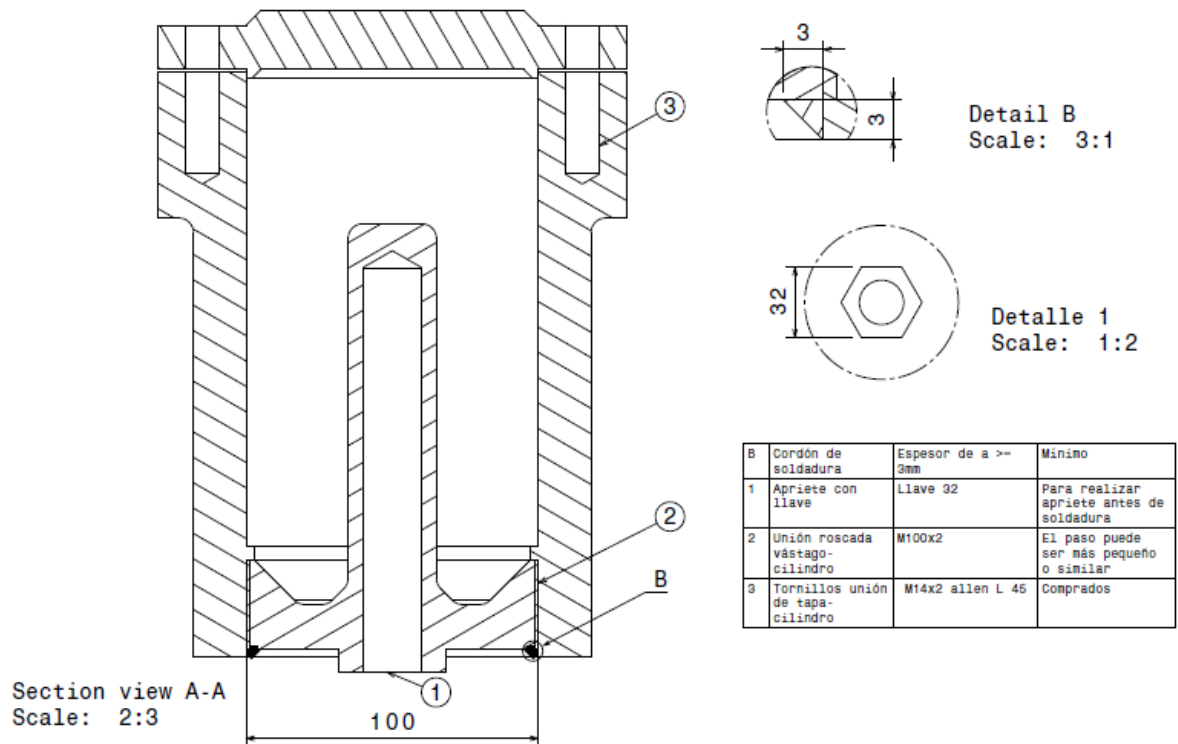
$$\tau_n = 1/\sqrt{2}(0 + 275.8) = 195 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = 0$$

$$\text{Por tanto: } \sigma_c^* = \sqrt{(-195)^2 + 1.8 \cdot ((195)^2 + 0^2)} = 326 \text{ MPa} \leq \sigma_u \approx 900 \text{ MPa}$$

Luego un cordón de soldadura realizado en la base de la rosca M100 con un diámetro de unos 100mm y un ancho de cordón de $a = 3\text{mm}$ sometido a la presión interna de trabajo con un factor de seguridad de 2 soportaría la carga holgadamente.

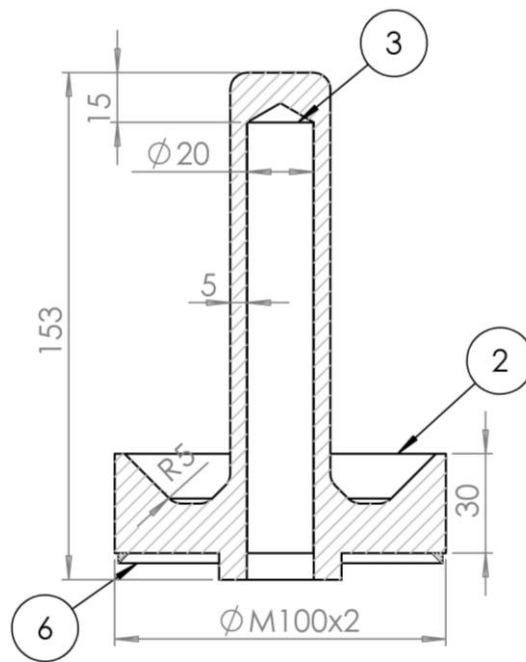
Finalmente, se ha enviado también a Sokar un plano con aclaraciones correspondientes para el montaje del vástago,



3.2.3. Geometría final de la pieza

Presentamos una sección de la geometría final del vástago de la cual podemos realizar los comentarios siguientes,

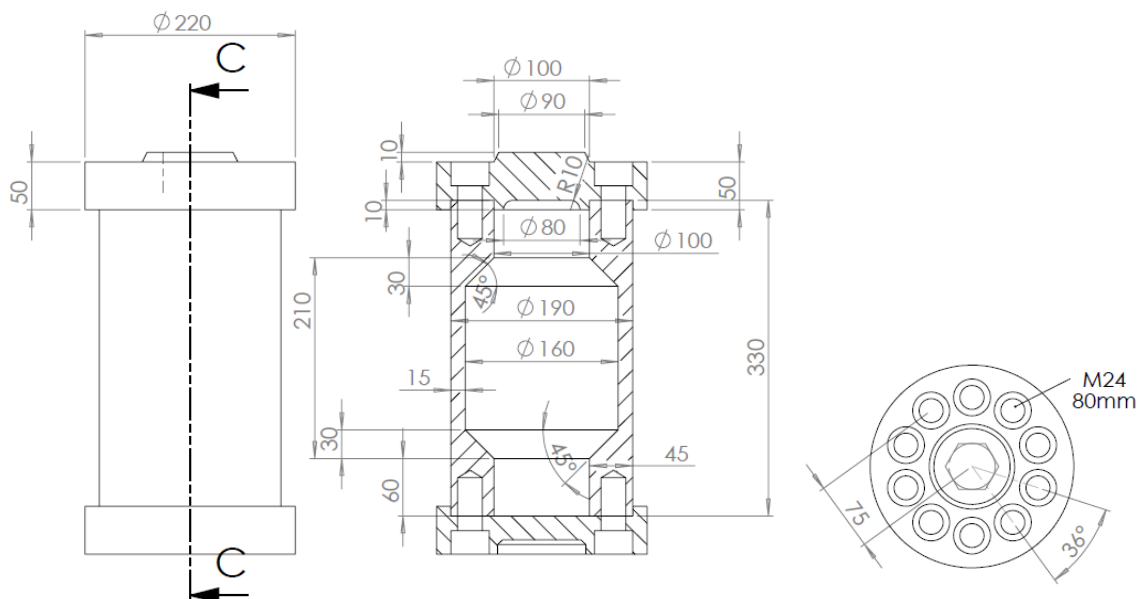
- La altura total del vástago viene determinada por la longitud de la resistencia (3). El orificio por el que esta se insertaría se realizaría taladrando con una broca del diámetro apropiado y luego rectificando la superficie para que el ajuste entre (2) y (3) sea perfecto. Sokar nos ha indicado que no hay problema de fabricación al respecto, aunque si tendríamos que llevarles físicamente la resistencia eléctrica para que tomaran medidas en varios puntos de esta y mecanizarían ellos el orificio con la tolerancia suficiente como para introducir (3) con muy poco esfuerzo, pero sin que quede suelta.
- El espesor del vástago en la zona en la que se introduce (3) se ha puesto de 5mm ya que las simulaciones con elementos finitos en ANSYS predicen que el estado de cargas de esta zona sería a compresión (a unos 100 MPa). Esto es beneficioso ya que comprimiría ligeramente la resistencia de forma concéntrica una vez en funcionamiento evitando que se suelte y, así mismo, nos permitiría eventualmente reducir el espesor de 5mm ya que no hay riesgo mecánico y se facilitaría el calentamiento del líquido y vapor.
- La base del vástago en la cara que da al fluido presentaría una geometría redondeada y un grosor que también se ha comprobado en ANSYS resiste los esfuerzos. La altura de rosca se ha dejado en 30mm por este motivo y porque es del orden que establece la VDI 2230.



3.3. Negociación de la configuración con Sokar Mechanics. Configuraciones desechadas.

Las mayores dificultades a la hora de realizar el componente no se han hallado en sí en el diseño y cálculo, sino que ha residido en encontrar la configuración de la vasija que fuera fabricable por los medios de los que disponía Sokar Mechanics y por un precio razonable, y que ha obligado a recalcular varias veces grandes partes del proyecto.

- Configuración I. El primer modelo que barajamos consistía en una versión de mayor tamaño que la que finalmente hemos diseñado (para poder funcionar durante mucho más tiempo de forma estacionaria), estando pensada para una capacidad de fluido del orden del doble de la capacidad final de diseño. Para su calentamiento escogimos una resistencia de inmersión de longitud 200 mm y de potencia 3000W que se roscaría por debajo del recipiente con una rosca GAS 2", la cual obligaba a tener una vasija relativamente grande y muy pesada.



Tras discutir la fabricabilidad de este diseño se llegaron a las siguientes conclusiones:

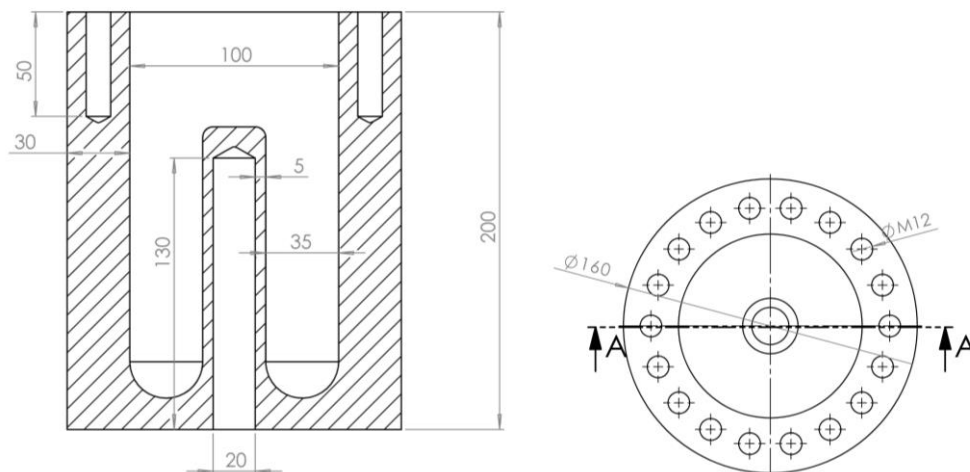
- Reducción de tamaño. La preforma necesaria para producir la pieza del cilindro de la vasija sería muy grande y muy pesada, aunque esta se podría fabricar en un torno de gran volumen de los que sí dispone Sokar. El problema sería la gran cantidad de acero que habría que desbastar, que daría lugar a un tiempo de mecanizado muy considerable y a un coste de fabricación previsiblemente excesivo.

Si deseamos tener más caudal o que el dispositivo opere durante más tiempo, deberemos conformarnos con producir varias unidades de menor tamaño que realicen el mismo trabajo.

- Eliminación de cavidades y zonas inaccesibles. El cilindro de la vasija tendría dos chaflanes en la cavidad interna para adaptar el diámetro interno hasta los 100mm, para el cual conocemos la tornillería necesaria con seguridad. No obstante, las herramientas de mecanizado no podrían llegar tan adentro como para producir la sección interior deseada.
- En cuanto a la tapadera y las entradas no nos pusieron ninguna pega. Se realizaría en una fresadora típica sin mayores problemas.

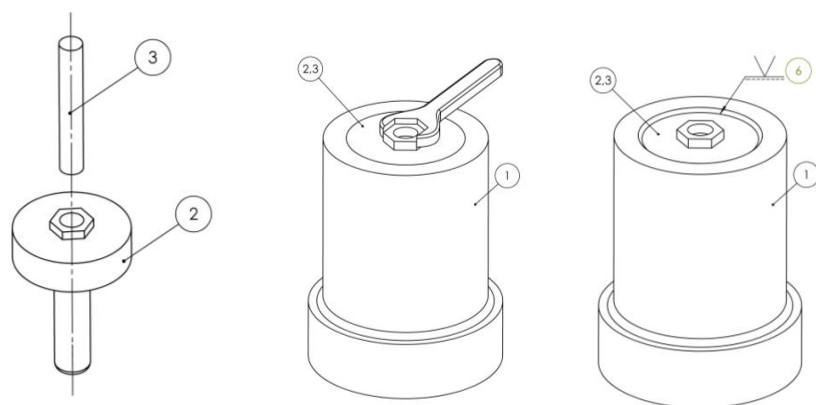
■ Configuración II. El segundo diseño incluyó las siguientes modificaciones,

- Decidimos hacer una reducción de tamaño significativa y hacer que las cavidades internas fueran lo más simples posible, haciendo que las superficies internas fueran más accesibles desde fuera.
- En este diseño incorporamos un vástago en el que se aloja la resistencia de cartucho 20x130 de 2200W que lleva el diseño final para el calentamiento. Esta al no ir roscada elimina completamente el peligro de fugas por la rosca en la base y de corrosión de la propia rosca, que era de bronce.
- Incorpora un redondeo en la base en la superficie interna que se ha comprobado en ANSYS que alivia suficientemente las tensiones generadas por la presión interna.



Tras discutir la fabricabilidad de este diseño se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El recipiente no puede fabricarse de una pieza por la estrechez de la región entre el vástago y la cara interna del cilindro (35mm). Además, la base redondeada es irrealizable. Requeriría equipamiento de precisión y de gran volumen no disponible entre los medios de Sokar. La única solución es el troceado del recipiente en varias partes.
- El material de fabricación no puede ser Inconel sino acero 316 por disponibilidad del material, como se explicó en apartados anteriores.
- Configuración final. Como ya se ido explicando la solución a los problemas de la configuración anterior quedaron resueltos al proponer el diseño en dos partes por el cual el vástago (2) se rosca al cilindro de la vasija (1) por su base con una rosca M100x2 y luego se suelda (6) para garantizar la estanqueidad y asegurar la unión.



4 CALENTAMIENTO

En este capítulo exponemos el dimensionamiento realizado de la resistencia eléctrica con la cual se calienta el fluido dentro de la vasija, así como elementos necesarios a tener en cuenta como el aislamiento y la electrónica necesaria para la monitorización de la temperatura.

4.1. Resistencia eléctrica

En primer lugar, con independencia de la configuración en que se coloque la resistencia, hemos querido estimar la potencia calorífica necesaria, que es el valor que se da en los catálogos comerciales.

Para esto primero se ha determinado el calor Q que tendría que absorber un volumen de agua líquido de 1.5L en unas condiciones de unos 20°C por debajo del punto crítico (220.64bar, 647.096K – 20K),

$$\begin{aligned} Q &\sim \rho_{PC}(P_{PC}, T_{PC} - 20K) \cdot V_{liq} \cdot c_p(P_{PC}, T_{PC} - 20K) \cdot ((T_{PC} - 20K) - T_{\infty}) = \\ &= \rho(220.64bar, 647.096K - 20K) \times V_{liq} \times c_p(220.64bar, 647.096K - 20K)((T_{PC} - 20K) - T_{\infty}) \\ &= 596.6 \frac{kg}{m^3} \times 1.5L \times 8.0853 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times ((647.1K - 20K) - 20K) = 2.416 \approx 2.5 MJ \end{aligned}$$

Para calcular la potencia necesaria necesitamos un tiempo estimado de calentamiento que fijamos en $t_{calentar} \sim 20$ min. Esto se hace por dos razones,

- De esta manera se tendrá un margen razonable de actuación en caso de que haya que abortar el ensayo por una sobrepresión, una rotura o cualquier fallo provocado por el aumento de temperatura y haya que enfriar el dispositivo rápidamente.
- Por otro lado, en caso de no haber fallos, para el tipo de resistencia que se va a emplear finalmente (de cartucho) recomienda el fabricante un calentamiento gradual. Esperar 15-20min a que se caliente el equipo es necesario para garantizar la durabilidad de la resistencia eléctrica.

Tenemos pues una potencia estimada de

$$\dot{Q} \approx \frac{Q}{t_{calentar}} \times F_{seguridad} = \frac{2.5MJ}{20min} \times 0.8 = 1500W$$

Para compensar pérdidas y adecuarse a lo que se ofrece comercialmente, sería adecuado instalar resistencias capaces de suministrar una potencia del entorno de 2000 W.

4.1.1 Tipología de la resistencia. Opciones.

Son varios los tipos de resistencias que podríamos haber montado, dado lugar a configuraciones de calentamiento y aislamiento distintas,

- De abrazadera. Consisten en una pieza cilíndrica hueca utilizada para calentamiento de tubos, por lo que emanan calor por la cara interior, mientras que su cara exterior permanece cubierta por una capa cerámica aislante. Típicamente se venden por diámetros preestablecidos, desde D25mm en adelante.

Para caracterizar la potencia los fabricantes dan los vatios por centímetro cuadrado de superficie interna que producen. Hemos podido comprobar que estos valores están entre 5-10 W/cm², lo que nos permitiría conseguir hasta 15kW para nuestro el cilindro de nuestro proyecto D160mmx300mm unos

$$P \sim 10 \frac{W}{cm^2} \pi \times 16cm \times 30cm \approx 15000W \gg 2000W$$



- Tubulares de inmersión. Las resistencias de inmersión se utilizan en aparatos industriales para el calentamiento directo de agua o soluciones acuosas como pueden ser calderas de calefacción, acumuladores de agua caliente, generadores de agua caliente o calentadores de caudal continuo. El cabezal suele ser una rosca estándar de latón o a veces de acero inoxidable. De acuerdo a su potencia estas resistencias pueden tener uno o más elementos doblados en "U" o en espiral. Deben permanecer siempre completamente sumergidas en el líquido a calentar (agua).
- De cartucho/de alta densidad de carga. Son resistencias cilíndricas empaquetadas en un blindaje de acero inoxidable. Se tienen que introducir en un vástago al cual transmiten el calor que emana por sus paredes laterales por conducción. Estas son algunas consideraciones de cara al diseño obtenidas de los fabricantes,
 - El blindaje cilíndrico exterior se suele dar rectificado en diámetro para tener una buena tolerancia. Vienen siempre con diámetros normalizados Ø 6.50, 8, 10, 12,50, 16, 20mm, etc.
 - La vida útil de una resistencia de cartucho depende del ajuste que se produzca entre el orificio y el cuerpo del calefactor. Un ajuste demasiado holgado provoca una peor transmisión térmica por conducción y un sobrecalentamiento en el cartucho que reducirá considerablemente su vida. El ajuste debe realizarse escariando el agujero del vástago con la suficiente precisión durante el mecanizado de éste.
 - Tienen en su base un aislamiento cerámico de óxido de magnesio muy higroscópico, por lo que se aconseja que el control de temperatura permita un calentamiento inicial gradual. Esta operación eliminará lentamente la humedad del interior del cartucho.



Las ofertas comerciales concretas de tubulares y de cartucho suelen dar potencias del orden de varios kW y como hemos comentando en el caso de las de abrazadera, más de 10kW. Hemos pedido información y presupuesto de las siguientes resistencias:

- Tubulares de inmersión de Incoloy. Rosca gas estándar (latón). Proveedor SURISA y otros.
 - SURISA EL-11602: 100,78 €/ud (3000W, 200mm longitud)
 - SURISA EL-11618: 104,65 €/ud. (3600W, 235mm longitud)
 - HORECATIGER nº 417228: 42.12€/ud. (2600W, en espiral, rosca de latón 1¼", 155mm longitud, ø 35mm)
- De inmersión para caldera. Proveedor ULIGAR.
 - ULIGAR Código 2.1.3.01. Longitud 200mm. Potencia 4500W. Brida D110. Tubo Cobre/Ni.
- De inmersión para baños galvánicos. ULIGAR.
 - Resistencia de inmersión en tubo INCOLOY DE 3000W. Con brida roscada en inoxidable de 1 ½", y soldaduras inoxidables de las resistencias a la brida. 500mm de longitud. Proveedor ULIGAR, 175 €/ud.
- De cartucho. Proveedores SURISA. Catálogo de Modelos de Alta Carga.
 - SURISA Resistencia de Cartucho 20x130x2200Wx230v 46.25€/ud

4.1.2 Conclusiones

La elección final de la resistencia que se ha decidido adquirido ha sido la de resistencia de cartucho de modelo

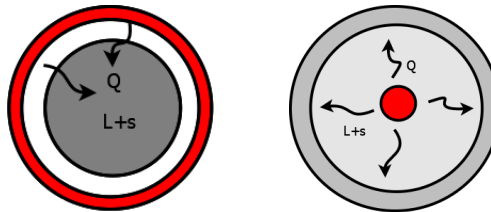
SURISA resistencia de Cartucho 20x130x2200Wx230v 46.25€/ud

Por las siguientes razones,

- La resistencia de cartucho a diferencia de las de inmersión no tiene que estar en contacto directo

con el fluido, sino embebida en un vástago o en otra pieza que si esté en contacto. Es el tipo de resistencia que utilizan las planchas para ropa, por ejemplo.

- Ofrecen una buena relación potencia/longitud, es decir, son bastante compactas, de ahí su nombre “de alta densidad de carga”, y no muy largas, con lo que no darían lugar a una vasija muy alta.
- Se hacen a medida, de hecho preguntando a proveedores se nos dijo que por ello no suelen tener en stock en todo momento todos los modelos en sus catálogos, que son muy extensos.
- Para alojarla en el cilindro de la vasija (1) se ha diseñado un vástago (2) que al ser de acero inoxidable 316 nos da más garantías de que resista la corrosión. Así mismo no ha lugar a posibilidad de fugas ya que la resistencia no iría roscada ni atornillada externamente como las de inmersión.
- La resistencia de abrazadera es una buena solución a priori por la gran potencia que puede dar, pero se ha descartado como sistema de calentamiento primario ya que aplicaría calor de forma externa y afectaría en primera instancia a las piezas de la vasija y no al fluido, no siendo tan directo el calentamiento como la de cartucho. No obstante, consideramos que si experimentalmente se ve que el tiempo de calentamiento es mucho, se podrá instalar una resistencia de abrazadera externamente para reducirlo.



- Las resistencias de inmersión se han descartado. Preguntando a técnicos de ULIGAR nos respondieron que este tipo de resistencias vienen preparadas para estar en todo momento en contacto con un líquido, ya que, en caso contrario y debido al tipo de tubo y a la carga superficial del mismo, el tubo de la resistencia subiría bastante de temperatura y abriría poros en su superficie, por donde se derivaría la resistencia. Otro problema añadido es el calentamiento de agua salina, que tendría un efecto corrosivo en el tubo y tendríamos que ir a una calidad de tubo muy superior, lo que significa una fabricación especial a medida.

Además, estas resistencias al ir roscadas, la rosca tiene que estar en contacto con el fluido, lo que la hace vulnerable a la corrosión sobremanera ya que suele ser de latón. Los técnicos de ULIGAR nos dijeron que lo que podrían hacer es utilizar en la rosca acero inoxidable en vez de latón, y que los elementos calefactores (horquillas) que van soldadas a la brida fueran de Incoloy.

Aun así estaría el problema de las fugas por la rosca y el hecho de que suelen ser muy largas, de 20cm de longitud como mínimo.

4.2. Aislamiento

Para minimizar las pérdidas de calor y conseguir el menor tiempo de calentamiento posible, tenemos en el laboratorio una manta de lana de roca (fibra cerámica) que utilizaríamos de aislante. Simplemente la recortáramos con tijeras en retales e iríamos recubriendo el recipiente a capas con ellos de forma artesanal hasta alcanzar el grosor suficiente.

La fibra cerámica es un excelente material refractario, que puede resistir temperaturas entre 950 y 1400 °C y tiene las ventajas de tener poco peso y poca capacidad calorífica, siendo esta del orden de

$$k_{lana} \in (0.034, 0.041) \sim 0.04 \frac{W}{m \cdot K}$$

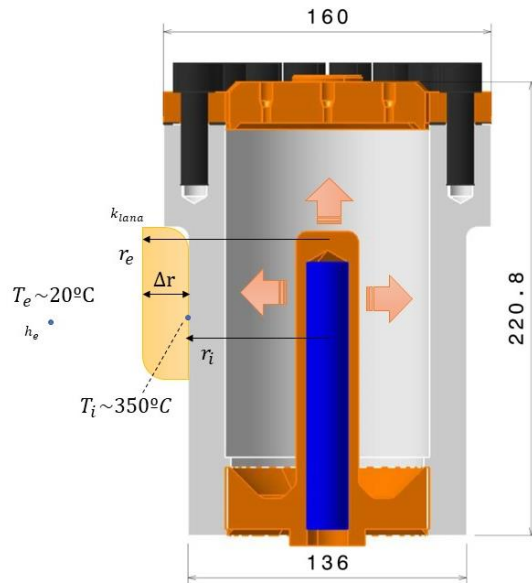
Para determinar el espesor de aislante que tenemos que colocar, en realidad, solamente tenemos que fijarnos en el espesor que tenía el aislante de nuestro horno del TFG, que rondaba los 3-4cm, y lo teníamos que poner a temperaturas del orden de los 500°C para que llegara el calor suficiente a los serpentines. Con ese espesor

podíamos tocar con la mano el horno y no quemaba en absoluto.

En cualquier caso queremos estimar qué espesor Δr nos haría falta para el nuevo equipo. Como solo necesitamos un orden de magnitud ya que empíricamente conocemos qué espesor va bien, vamos a suponer que la mayor parte del calor disipado se evacúa por difusión hasta la temperatura $T_e \sim 20^\circ\text{C}$. Estimando un coeficiente de película h_e se obtiene

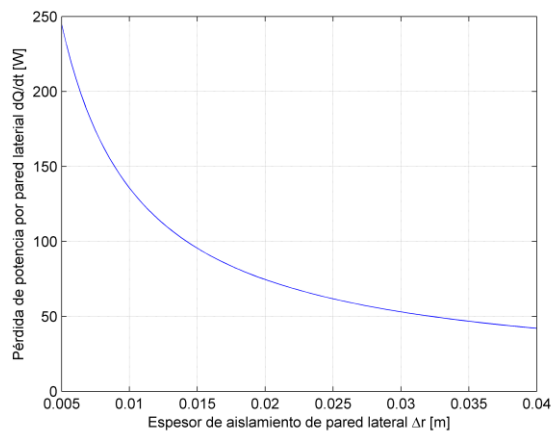
$$h_e = h_{\text{aire}} \sim 10 - 100 \sim 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Como se aprecia en la imagen, el calor fundamentalmente se escaparía por la cara lateral, la base y la tapadera superior, con las dimensiones que se muestran,



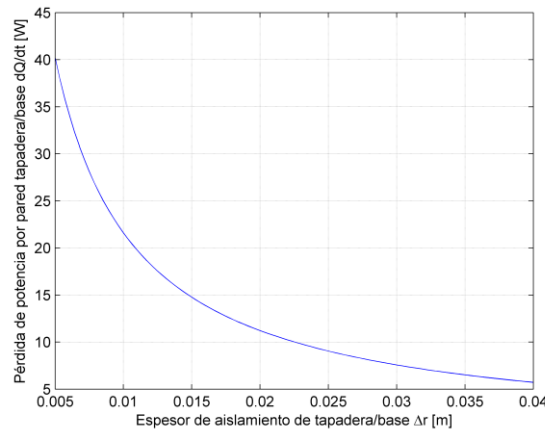
Si suponemos que el metal de la cara externa del recipiente se encuentra a la temperatura de operación de unos 350°C , las pérdidas por la superficie lateral como una función del espesor de aislamiento Δr son

$$\dot{Q}_{\text{lat}} = \frac{T_s - T_e}{\frac{1}{h_e 2\pi r_e L} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{2\pi k_{\text{iana}} L}} \approx \frac{350^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{\frac{1}{50 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} 2\pi(\Delta r + 0.15\text{m})L} + \frac{\ln\left(\frac{\Delta r + 0.15\text{m}}{0.15\text{m}}\right)}{2\pi \cdot 0.04 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 0.22\text{m}}}$$



Y las pérdidas por la superficie de la tapadera y la base son aproximadamente iguales y de valor

$$Q_s \approx \frac{T_s - T_e}{\frac{1}{h_e A} + \frac{\Delta r}{k_{\text{lanas}} A}} = \frac{350^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{\frac{1}{50 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \pi \left(\frac{0.15\text{m}}{2}\right)^2} + \frac{\Delta r}{0.04 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \pi \left(\frac{0.15\text{m}}{2}\right)^2}}$$



Finalmente, como todo el fluido que se va a consumir se calienta desde el primer momento con el recipiente cerrado, no hay consumo por aporte de calor al fluido del tipo $\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T$. En todo caso este calor se puede contabilizar por el riesgo que hay de que las corrientes de líquido y vapor se enfríen a su paso por las válvulas y el nebulizador. Al tener este calor en cuenta como un exceso,

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{liq} &= \dot{m}C_p\Delta T \sim \rho_l(T_{cr})qC_p(T_{cr})(350 + 273.15\text{K}) \sim 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 10 \frac{\text{mL}}{\text{min}} 3500 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} (350 \\ &\quad + 273.15\text{K}) = 182 \text{ W} \sim 200 \text{ W} \\ \dot{Q}_g &\sim \dot{Q}_{liq} \cdot \frac{\rho_l}{\rho_g} \sim \dot{Q}_{liq} \cdot \frac{1}{5} \sim 40 \text{ W}\end{aligned}$$

En resumen y a la vista de las gráficas anteriores, podemos considerar un espesor razonable de 20mm de aislamiento. Teniendo todo en cuenta obtenemos las siguientes estimaciones,

Zonas	Pared lateral	Tapadera	Base	Extra-líquido	Extra-vapor
$\dot{Q}[\text{W}]$	75	15	15	200	40

Total $\Sigma\dot{Q} \sim 350 \text{ W}$ donde la potencia total disponible es de 2200 W. Luego se cubren holgadamente las pérdidas mientras el sistema esté en funcionamiento ya que bastaría con mantener la resistencia a un $350/2200 \sim 15\%$ de su potencia máxima una vez se hubiera precalentado el recipiente a 350°C .

4.3. Electrónica

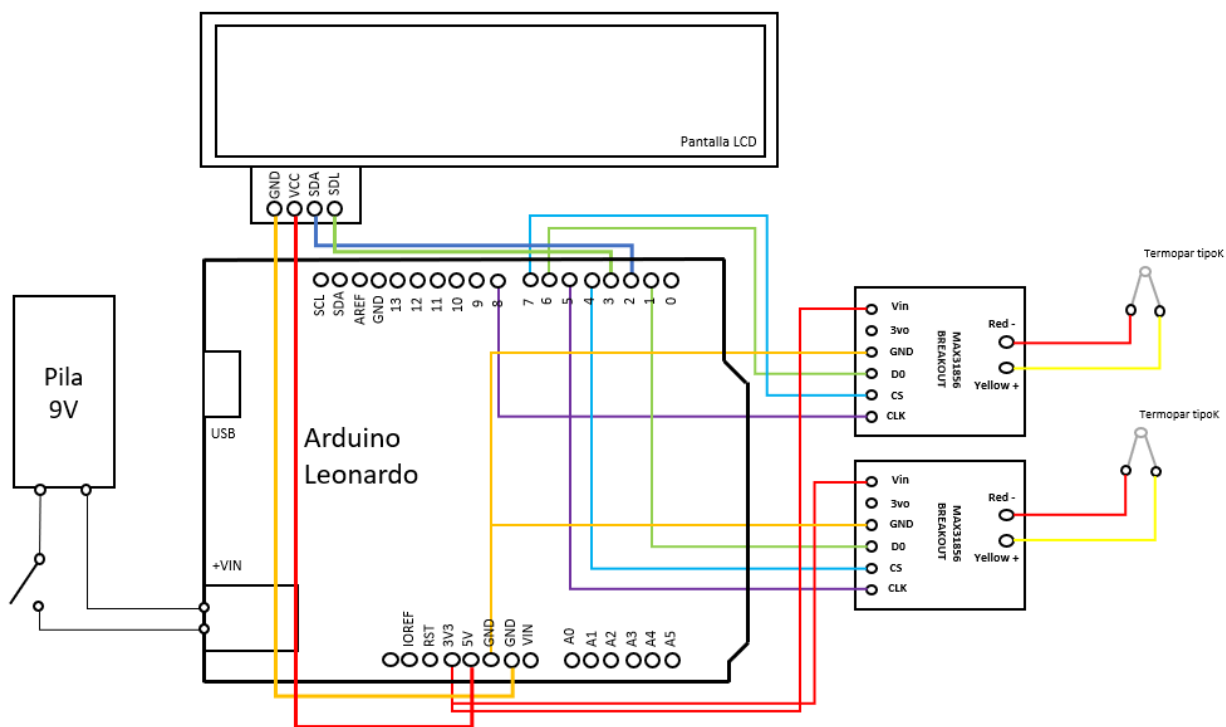
Este epígrafe pretende servir para que, en caso de finalmente construir el equipo, pueda remitirse aquí al lector y tener un circuito ya probado por el autor, completamente autónomo, para realizar la monitorización de la temperatura en varios puntos y no tener que desarrollar nuevamente la electrónica.

El circuito que mostramos a continuación serviría para medir la temperatura en dos puntos, para lo cual tendríamos dos termopares de tipo K (cable rojo-amarillo) que amplificaríamos con dos módulos MAX31856 BREAKOUT comerciales. La señal de ambos sensores se mandaría a una placa Arduino Leonardo alimentada por una pila de 9V. Finalmente la lectura de los sensores sería escrita en una pantalla LCD que se vende con su módulo adaptador IIC/I2C de cuatro pines compatible con Arduino.

La regulación de la potencia proporcionada por la resistencia eléctrica se haría manualmente, conectando entre la línea y la resistencia de cartucho un regulador de



tensión típico de 4000W de 220VAC que se puede comprar a muy bajo precio para uso doméstico. En función de las medidas de temperatura, el usuario subiría o bajaría la potencia.



Para hacer funcionar el circuito de forma autónoma proporcionamos a continuación el código que llevaría implementado, que ya se encuentra probado. El usuario únicamente tendría que instalar las librerías gratuitas Adafruit MAX31855 para los módulos de los termopares y la Liquid Crystal I2C para el módulo de la pantalla LCD,

```
#include <SPI.h>
#include "Adafruit_MAX31855.h"

#define DO1 1
#define CS1 4
#define CLK1 5

#define DO2 6
#define CS2 7
#define CLK2 8

Adafruit_MAX31855 thermocouple1(CLK1, CS1, DO1);
Adafruit_MAX31855 thermocouple2(CLK2, CS2, DO2);

#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Libreria LCD_I2C

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // si note sale con esta direccion
// usar (0x3f,16,2) || (0x27,16,2) || (0x20,16,2)

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("MAX31855 test");
  // wait for MAX chip to stabilize
```

```

    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
    delay(500);
}

void loop() {
    Serial.print("TC1 = ");
    Serial.print(thermocouple1.readCelsius());
    Serial.print("    TC2 = ");
    Serial.print(thermocouple2.readCelsius());
    Serial.println(" ");

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("TC1 = ");

    lcd.print(thermocouple1.readCelsius());
    lcd.print(" [C]");

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("TC2 = ");

    lcd.print(thermocouple2.readCelsius());
    lcd.print(" [C]");

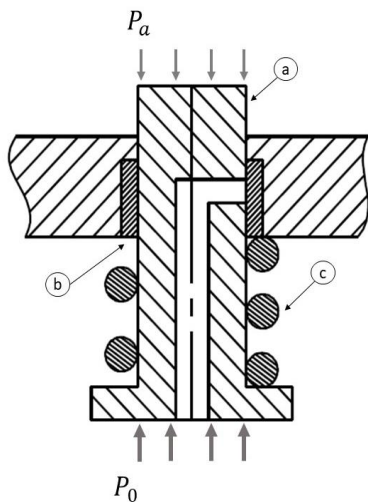
    delay(500);
}

```


5.1. Válvula de alivio y recarga.

5.1.1. Dimensionamiento del diseño propio. Iteraciones.

Nuestra primera idea ha sido proponer un diseño propio de la válvula de alivio que fabricaríamos con las dimensiones apropiadas para nuestro dispositivo. Esta válvula iría integrada en la tapadera del recipiente, que recordemos tendría como área disponible un círculo de diámetro D100, de manera que las dimensiones de los componentes deberían ajustarse al espacio disponible. El diseño conceptual consistiría en lo siguiente,



a	Pistón/vástago	Inconel 625
b	Junta lubricante	Grafito
c	Muelle	Acero para muelles

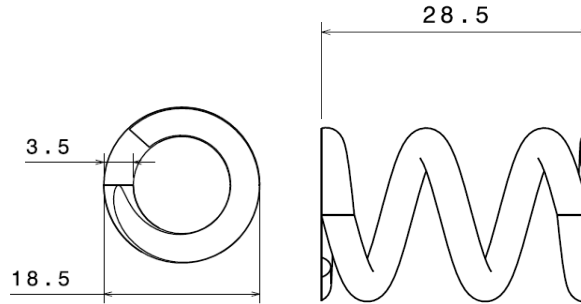
- Tendría un vástago mecanizado en Inconel que deslizaría sobre una junta autolubrificante de grafito movido por la diferencia de presiones en el interior del recipiente P_0 con respecto a la ambiente P_a . La fuerza necesaria para contener el movimiento del vástago la ejercería un muelle o algún tipo de resorte que sería concéntrico con aquel.
- Tendría una doble funcionalidad:
 - Por un lado, el vástago tendría practicado un conducto por el cual podría circular el vapor, de manera que a una determinada presión el vástago se desplazaría hacia arriba una distancia determinada y dejaría asomando el orificio de salida, aliviando la presión dentro del recipiente.
 - Por otro lado, el desplazamiento en tiempo real del vástago permitiría medir la presión al mismo tiempo sin más que grabar una escala de presiones en la cara lateral del vástago, dependiendo esta escala de la respuesta del resorte a la presión interna.

5.1.1.1 Dimensionado del resorte.

Antes de exponer el cálculo del muelle, presentamos las dimensiones finales a las que se ha llegado del mismo para una mejor lectura, ya que se han realizado varios tanteos con medidas distintas y así quedan claras las dimensiones finalmente adoptadas,

- Material: acero inoxidable austenítico (para muelles 302, 304, etc.)
- Longitud total $L = 28.5\text{mm}$ totales (altura de hélice $25\text{mm} + 3.5\text{mm}$).
- Diámetro externo $D_{out} = 15 + 3.5 = 18.5\text{ mm}$ ($D = 15\text{mm}$ diámetro medio)
- Diámetro interno $D_{int} = 15 - 3.5 = 11.5\text{ mm}$
- Diámetro del alambre $d = 3.5\text{ mm}$
- Paso de la hélice $p = 12.5\text{ mm}$
- Número de espiras activas $N_a = 2$ ($N_t = N_a + 2 = 4$ totales)
- Extremos planos rectificadas (las 2 espiras de los extremos estarían aplanadas)

- Precio de fabricación 53,00€ (presupuesto pedido a Muisur Elementos de Acero y Derivados S.L.)



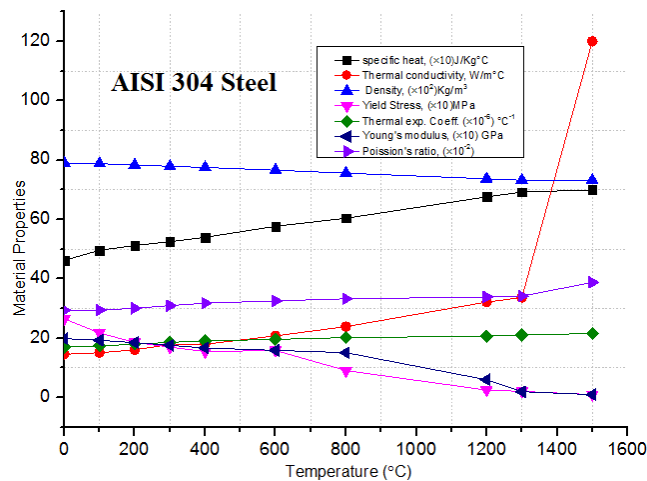
Para el dimensionado, en primer lugar se ha recurrido a Carlson (1978) para obtener la propiedades del material que nos hacen falta,

$$UTS \text{ (AISI 302)} = 2000 \text{ MPa}$$

$$G \text{ (AISI 302/304)} = 69 \text{ GPa}$$

$$E \text{ (AISI 302/304)} = 160 \text{ GPa}$$

No obstante, la variación con la temperatura de las propiedades mecánicas en el rango 20°C a 350°C aunque escasa no es despreciable, por lo que recurrimos a la siguiente gráfica tomada de Suman (2016) para tomar las propiedades a la temperatura de funcionamiento,



A la vista de la gráfica anterior, podemos corregir las propiedades mecánicas del material del muelle para la temperatura de operación estimada de 350°C y tomar otras que nos hagan falta,

$$\nu \approx 0.26$$

$$E \approx 193 \text{ GPa}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 63.6 \text{ GPa}$$

Para saber si el muelle resiste a la carga aplicada en funcionamiento, necesitamos la tensión de rotura S_{UTS} ya que los límites mecánicos se suelen calcular a partir de este valor (que no aparece en la gráfica anterior). Para obtenerlo recurrimos a Shigley que nos da una ley para S_{UTS} en función del diámetro del alambre d ,

$$S_{UTS} \approx \frac{A}{d^m}$$

Donde para $d \in [0,5] \text{ mm}$ (en nuestro caso $d = 3.5 \text{ mm}$) tenemos que $A = 2065 \text{ MPa}$ y $m = 0.263$ luego

$$S_{UTS} \approx 1350 \text{ MPa}$$

Así mismo, necesitamos conocer el límite elástico torsional para nuestro material YS_t , que para muelles de compresión helicoidales en aplicaciones estáticas se calcula como un porcentaje de la tensión de rotura en base a la siguiente tabla extraída de Carlson (1978) ,

Maximum Allowable Torsional Stress for Helical Compression Springs in Static Applications (% of Tensile Strength)		
Material	Unprestressed (Before set removed) (Includes K_W or K_ϕ)	Prestressed (After set removed) (Includes K_S)
Music wire and cold-drawn carbon steel	45 %	60-70 %
Hardened and tempered carbon and low-alloy steel	50 %	65-75 %
Austenitic stainless steels	35 %	55-65 %
Nonferrous alloys	35 %	55-65 %

Source : From Shigley's Mechanical Engineering Design [Ref 2] page 508 and Standard Handbook of Machine Design [Ref-3] Chapter 24 page 19

Note: K_W : Wahl factor, K_ϕ : Bergsträsser factor, K_S : Shear-stress correction factor

Como estamos diseñando el muelle en acero austenítico (302 o 304, con propiedades casi idénticas) tomamos el 35% de la S_{UTS} , resultando

$$YS_t \approx 0.35 \times 1350 \text{ MPa} \approx 472.5 \text{ MPa}$$

Establecido el límite torsional $YS_t = 472.5 \text{ MPa}$, tenemos que calcular el esfuerzo torsional al que se ve sometido nuestro muelle en funcionamiento τ_{max} para comprobar si lo sobrepasa, que se calcula como

$$\tau_{max} = \frac{K_W 8FD}{\pi d^3},$$

donde K_W es el factor de Wahl (que depende del coeficiente de muelle $C = D/d$)

$$K_W = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C},$$

y F es la fuerza aplicada. Esta fuerza depende del diámetro del vástago, que es $\Delta D = 0.5 \text{ mm}$ más estrecho que el diámetro interno del muelle $D_{int} = 11.5 \text{ mm}$, siendo entonces el del vástago $D_{vas} = 11 \text{ mm}$. Así mismo hemos establecido que la presión tope a la cual se abrirá la válvula de seguridad sería aquella para la cual tenemos $FS = 1.5$ veces la presión del punto crítico,

$$F = (22.064 \text{ MPa} \cdot FS - 101325 \text{ Pa}) \frac{\pi}{4} (11 \text{ mm})^2$$

Por otro lado, hemos diseñado este muelle para que produzca un desplazamiento máximo de Δy de unos 10mm alcanzada la fuerza (presión) anterior. Las dimensiones las hemos calibrado para ajustar la constante k del muelle que se calcula como

$$k = \frac{d^4 G}{8 N_a D^3}$$

siendo el desplazamiento simplemente

$$\Delta y = F/k$$

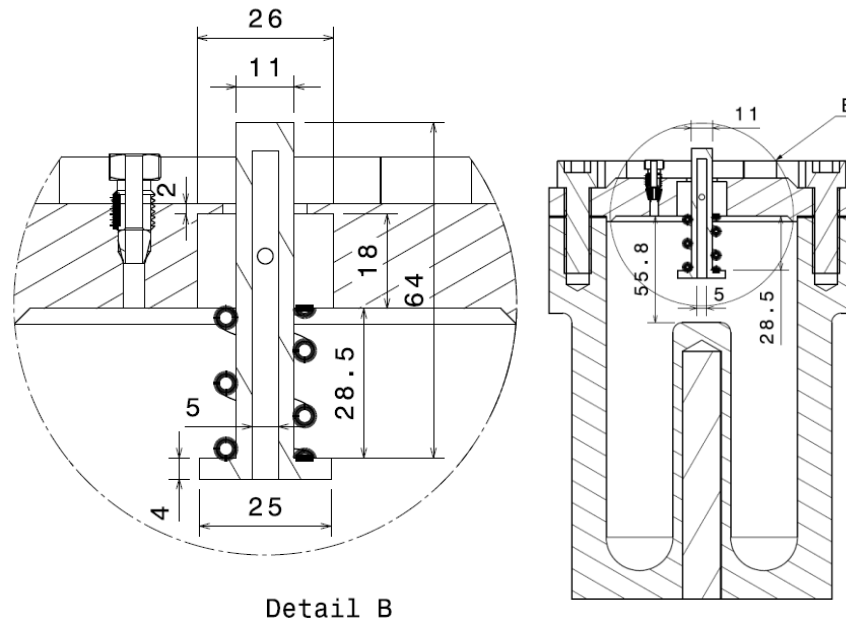
Los resultados de los cálculos para el muelle son

Δy [m]	C	k [N/m]	F [N]	τ_{max} [MPa]	$YS_{torsional}$ [MPa]
0.010306	3.2	3.0279e+05	3135.6	1566.9	472.5

De lo que se concluye que $YS_{torsional} = 472.5 \text{ MPa} < \tau_{max}$ con lo que el muelle en principio no soportaría la carga F sin sufrir deformaciones permanentes. Este resultado teórico no es por sí mismo de fiar ya que hemos comprobado que las soluciones comerciales para válvulas de este estilo tienen muelles montados con dimensiones similares a las nuestras, por tanto, creemos que sería indispensable para el diseño final del muelle

tener una componente experimental que valide o corrija los cálculos anteriores, que no son más que estimaciones teóricas.

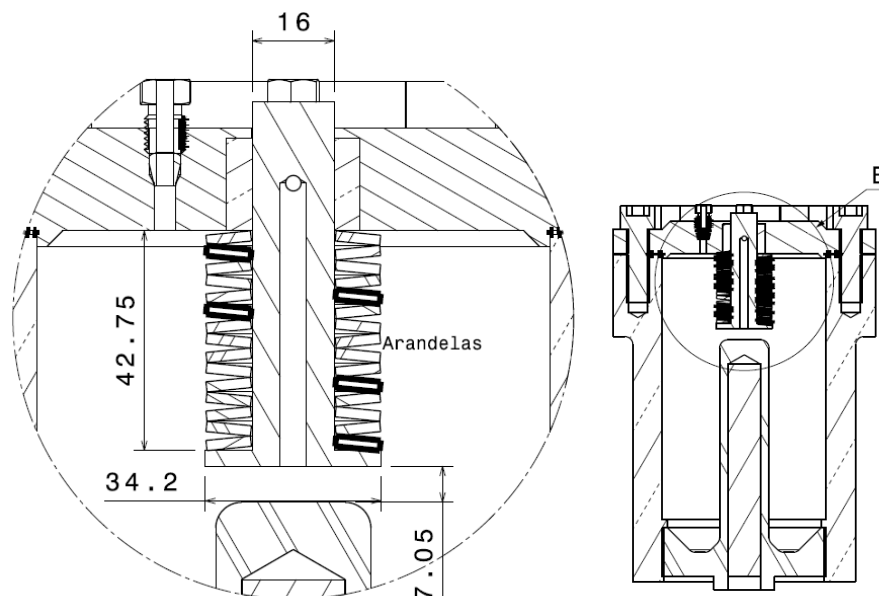
En cualquier caso las dimensiones son coherentes con las válvulas comerciales y por ello hemos querido continuar y ver si es posible realizar la integración de la válvula de alivio con las dimensiones del muelle anterior y su vástago, todo instalado en nuestro dispositivo. Como se ve en la sección que mostramos a continuación, las dimensiones del muelle y de su válvula no sobrepasan nuestras limitaciones de espacio,



Realmente interesaría que la válvula fuera lo más pequeña posible, por ejemplo del tamaño de las que llevan las ollas a presión. Sin embargo, con la morfología anterior no se puede hacer tan reducida por la fragilidad que tendría la junta de grafito, porque sería muy delgada, y porque el diámetro del alambre del muelle daría lugar a coeficientes de muelle C muy elevados e infabricables.

En definitiva, dado que no podemos garantizar que el muelle vaya a tener el comportamiento calculado (constante k del muelle anterior) con la exactitud necesaria, hemos decidido reemplazarlo por una columna de arandelas Belleville comerciales (de platillos o de disco también llamadas), para las cuales sí tenemos las curvas experimentales del fabricante directamente.

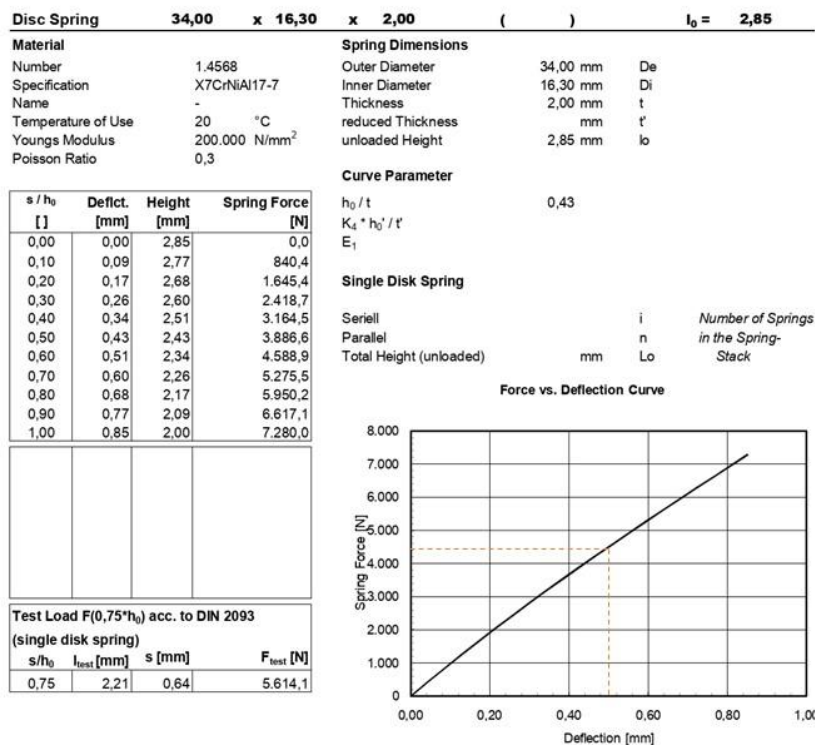
El montaje sustituyendo el resorte por las arandelas de disco sería como mostramos a continuación,



Podemos decir que:

- El montaje sería en serie para aumentar la elongación total de la columna de forma proporcional al número de arandelas. La elongación total debe ser todo lo grande que se pueda y como poco similar a la que proporcionaba el muelle anterior ($\Delta y \approx 10\text{mm}$).
- Hemos colocado 15 arandelas de dimensiones normalizadas $34 \times 16,3 \times 2 \times 2,85$ ($D_{ext}, D_{int}, \text{espesor}, \text{altura}$) en acero inoxidable 17-7PH. Por tanto, tenemos un conocimiento exacto del material de fabricación y del comportamiento de la arandela frente a la temperatura, que se conoce a través de la norma DIN2092/ DIN2093.
- La separación entre la base del pistón de la válvula hasta el vástago de la resistencia se ha reducido tanto (hasta los 7.05mm) para poner el mayor número de arandelas posible (~15) sin tocar la parte superior del vástago. Así maximizamos la elongación alcanzable por la columna.
- Hemos ensanchado el vástago hasta los 16mm para que se pegue bien con las arandelas, que tienen diámetro interno 16.3mm. No hemos escogido arandelas más reducidas ya que hemos hecho varias pruebas y no hay arandelas normalizadas de diámetro interno 11mm que resistan $F = 3135,6\text{N}$, la fuerza que calculamos inicialmente para el muelle.
- La fuerza para el diámetro D16 es ahora mayor y su valor es $F = (22.064\text{MPa} \cdot 1,5 - 101325\text{Pa}) \frac{\pi}{4} (16\text{mm})^2 = 4420\text{N}$, pero está dentro del rango dado por las curvas empíricas del fabricante (como se puede ver más abajo).

A continuación mostramos la hoja de características real de las arandelas Belleville finalmente seleccionadas, que se podrían adquirir de SURISA,



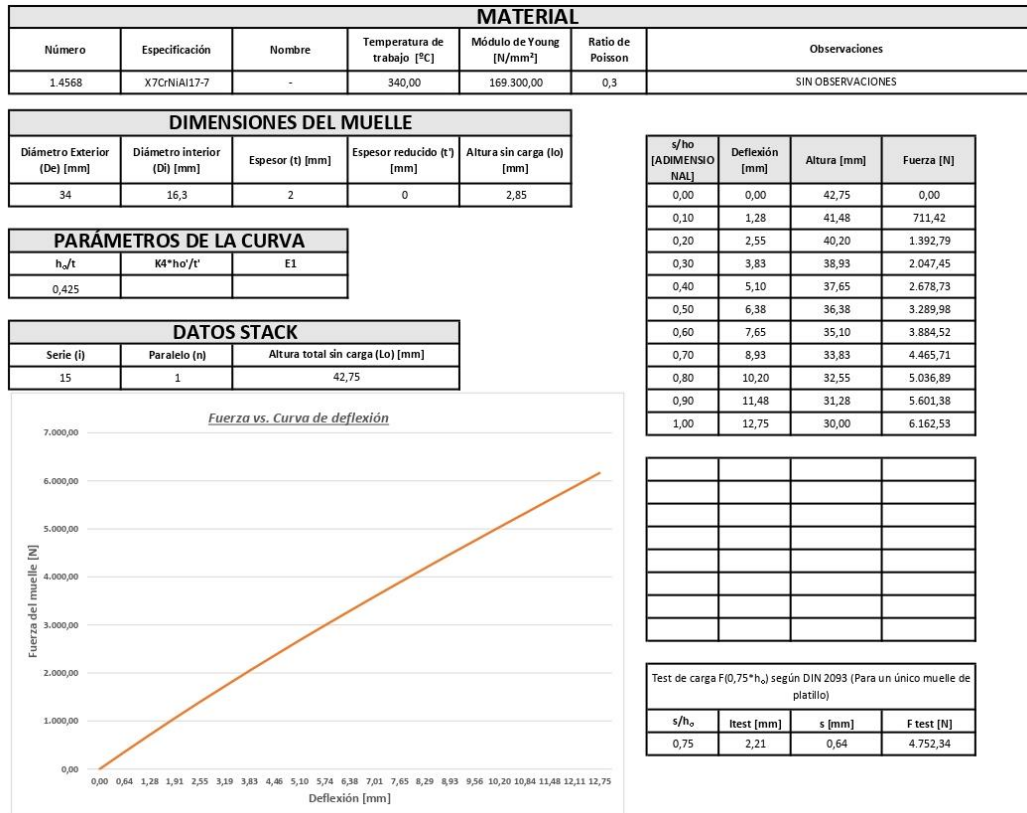
Podemos comentar que,

- Ante una fuerza aplicada de $F = 4420\text{N}$, la arandela sufre una deflexión de unos 0.5mm y tiene margen respecto de la fuerza máxima recomendada de 5614N, para la cual la deflexión sería del 75% (aunque todavía podría resistir hasta los 7000N).
- Como una sola arandela da tan poca deflexión nos vemos obligados a montar varias en serie. Para el cálculo de la columna de arandelas Belleville se ha recurrido a una hoja cálculo proporcionada por SURISA (proveedor de este tipo de arandelas) que sigue el contenido de la norma DIN2092/

DIN2093 al respecto. Esta nos permite calcular arandelas en serie con mucha exactitud ya que emplea las curvas de comportamiento experimental para cada arandela, cuyas dimensiones están normalizadas. Así mismo tiene en cuenta el efecto de la temperatura tal y como exige la norma ya que nos permite corregir las propiedades del material para la temperatura de operación (~350°C).

- Tendrían un coste de 3.64€/ud, lo que hace un total de 54.6€, casi igual que el muelle.

La hoja de cálculo de SURISA nos proporciona la siguiente curva de comportamiento de nuestra columna (también llamada stack),



De la cual se concluye que,

- Ante una $F \approx 4500\text{N}$, la columna sufre una deflexión de unos $\Delta y \approx 9\text{mm}$ a la temperatura de 340°C, una distancia del orden que deseábamos.
- La altura total de la columna indeformada sería de 42.75mm.
- La columna puede resistir una fuerza máxima de unos 6000N a la temperatura de trabajo, con lo que tenemos margen.
- Podemos dar por finalizada la elección del resorte.

5.1.1.2 Dimensionado de la junta sellante.

Estudiando diferentes catálogos de válvulas de alivio hemos hecho una lista (ver apartados posteriores) de posibles materiales que servirían de junta sellante. Sin embargo, para que deslice el vástago sobre ella, la junta tiene que ser de un material autolubrificante quedando básicamente dos opciones posibles,

- PTFE. Con el problema de que emana gases tóxicos a partir de los 260°C y sublima en el entorno a los 340°C.
- Grafito. Funde a unos 3800K, y tomamos las propiedades concretas del grafito isostático que nos ha dado el fabricante Carbosystem para esta aplicación,

CALIDAD		CB1
<input type="checkbox"/> Densidad aparente	g/cm ³	1,85
<input type="checkbox"/> Dureza Shore		58
<input type="checkbox"/> Porosidad	%	13
<input type="checkbox"/> Resistividad Eléctrica	μΩm	11
<input type="checkbox"/> Resistencia a Compresión	MPa	98
<input type="checkbox"/> Resistencia a Flexión	MPa	49
<input type="checkbox"/> Módulo de Young	GPa	10,8
<input type="checkbox"/> Conductividad Térmica	W/mk	116
<input type="checkbox"/> Coeficiente de Dilatación	10 ⁻⁶ /°C	5,5

Estas medidas deben tomarse como valores medios

Ya que nuestra temperatura de operación sería de unos 20°C por debajo del punto crítico del agua (374°C), estaríamos operando a unos 350°C, quedaría como única opción posible el grafito. De hecho, este es el material que se emplea en las empaquetaduras y cerrajes de las válvulas de alta temperatura según hemos leído en catálogos.

El único requisito que tiene que cumplir la junta es que al elevarse la temperatura desde la ambiente hasta los 350°C, las dilataciones producidas en el vástago y aquella no den lugar a tensiones superiores a las que puede resistir el material más frágil. En base a la tabla de propiedades del grafito isostático, sería mucho más frágil el grafito que el vástago (de Inconel o acero) ya que

- las resistencias a compresión y flexión del grafito son del orden de 50-100MPa y, aunque no aparece ahí,
- su tensión de rotura ronda los 76MPa como mucho (igual a su límite elástico por ser de rotura frágil),

Mientras tanto, el Inconel y los aceros fácilmente llegan a límites elásticos de 500MPa y a tensiones de rotura de 1000MPa. Por tanto, tenemos que tomar el grafito como material limitante.

Para proceder al cálculo, si consideramos los coeficientes de dilatación térmica del grafito isostático $\alpha_{Lg} = 5.5 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$ frente al de un metal, pongamos que Inconel 625, de $\alpha_{L625} \approx 13.5 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$ tenemos que ante un incremento de la temperatura ΔT las piezas sufrirán un incremento de longitud en su dirección radial de valor ΔL ,

$$\Delta L/L = \alpha_L \Delta T$$

Ante un $\Delta T = 350 - 20^\circ\text{C} = 330^\circ\text{C}$ obtenemos que el diámetro interno D16mm de contacto entre las dos piezas se dilata de distinta manera,

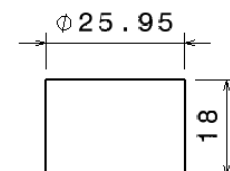
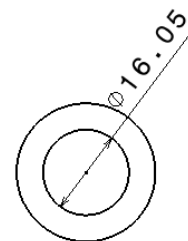
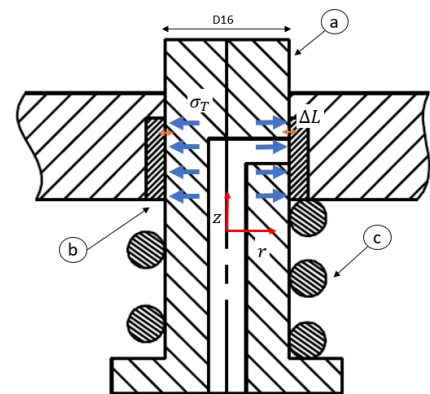
- $\Delta L_g \approx +0.0845\text{mm}$ (pieza b, grafito)
- $\Delta L_{625} \approx +0.2074\text{mm}$ (pieza a, Inconel)

Lo cual se traduce en que la junta de grafito ($E_g = 10.8\text{MPa}$) sufre una presión interna causada por la mayor dilatación del vástago en su interior $\Delta L_g < \Delta L_{625}$, dando lugar a unas tensiones de

$$\sigma_T = E_g \frac{\Delta L_{625} - \Delta L_g}{16\text{mm}} \approx 83\text{MPa}$$

Que es superior al límite de rotura a tracción del grafito $83\text{MPa} > 76\text{MPa}$.

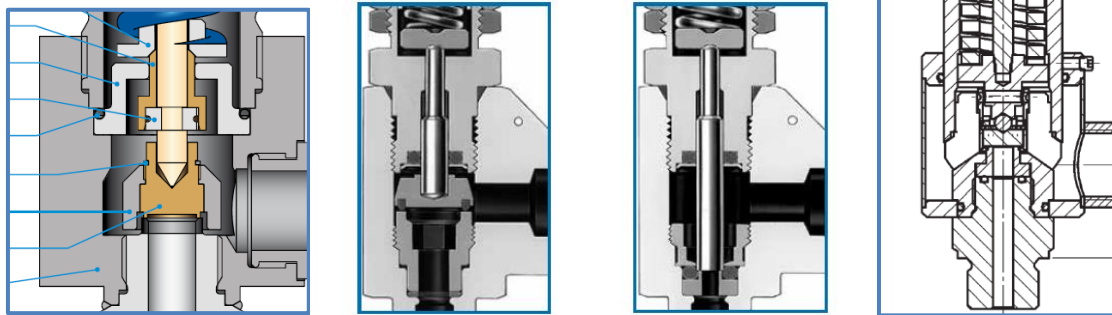
Por tanto se concluye que el diseño anterior no funcionaría ya que la junta de grafito se quebraría al dilatarse el pistón concéntrico con ella. Esto nos obligaría a ensanchar ligeramente el diámetro interno de la junta una cantidad $\Delta L_{625} - \Delta L_g = 0.1229\text{mm}$, lo cual supone casi unas $100\mu\text{m}$, provocando fugas en el sistema desde que empezase a operar. Exponemos la decisión final a continuación.



5.1.1.3 Conclusiones. El problema del sellado.

En base a los anteriores análisis, se concluye que el diseño del resorte quedaría solventado con la elección de las arandelas Belleville apropiadas, por lo que para el diseño de la válvula de alivio la limitación principal se encontraría únicamente en la junta de grafito, que merece las siguientes consideraciones:

- Por un lado si se deja holgura entre la junta y el vástago, debido a las dilataciones, la junta estaría sometida a tensiones del orden de sus límites de rotura, siendo muy probable que rompiera en funcionamiento por un sobrecalentamiento accidental, por ejemplo durante los primeros ensayos.
- Por otro lado y más importante es el hecho de que se producirían fugas desde el primer momento si diseñáramos la junta frente a dilataciones. Para esto tendríamos que hacer el diámetro interno de la junta ligeramente mayor que el diámetro externo del vástago, dando lugar a una holgura a temperatura ambiente de unos $100\mu\text{m}$, tan ancha como el diámetro del orificio de salida del nebulizador pero extendida a una circunferencia de diámetro 16mm, algo inasumible.
- Más aún, si comparamos con las soluciones comerciales ya existentes del válvulas de alivio, para aquellas que trabajan en nuestros rangos de presión y temperatura, la implementación del cierre sellante en nada tiene que ver con el que proponemos nosotros. Véanse los cortes siguientes de las válvulas de la serie Si 0329 de Mecesa, de la serie RL3 y R3A de Swagelok y de la serie 492 de Goetze (izda. a dcha.),



A la vista de las zonas de cierre de los modelos comerciales, vemos que el punzón de cierre tiene una geometría y una serie de piezas adicionales que parecen servir para distribuir los esfuerzos al producirse el cierre. Harían falta ensayos experimentales y cálculos más elaborados para diseñar nuestro propio cerraje y garantizar que funcionase tan bien como los de estos fabricantes, lo cual queda fuera de nuestro alcance. Así pues se concluye que:

- Nuestros diseños previos son demasiado simplistas en comparación con los modelos comerciales. Estos tienen un mecanismo más elaborado y complejo. Si realizáramos la válvula desde cero es improbable que funcionase el sellado a la vista de la complejidad de las válvulas comerciales, las cuales han sido sometidas a rigurosos controles de seguridad.
- Pese a todo, la zona de cierre/sellado tiene que ser necesariamente de un material como el grafito o un metal capaz de resistir altas temperaturas.

Por todo lo anterior, hemos decidido abandonar la opción de construir nuestra propia válvula de alivio y, por tanto, el siguiente paso ha sido buscar una solución comercial que pudiera servir a nuestros propósitos.

5.1.2. Soluciones comerciales.

Para seleccionar una válvula de alivio comercial que funcionase en nuestro equipo, determinamos que ésta tendría que poder operar en el entorno de los 22-30MPa (220-300bar) y a 350°C. Así mismo estaría destinada a evacuar vapor de agua, es decir, tendría que ser apta para gases.

Como resultado de nuestra búsqueda en varios catálogos hemos hecho una pequeña lista con los modelos cuyas características constituyen la mejor opción de cada marca para nuestra aplicación:

- (Goetze) Serie 492. Válvulas de seguridad de alta presión. Acero inoxidable. Apta para descarga atmosférica. Temperaturas de trabajo -60 °C a +180 °C. Presión máxima 630 bar.

- (Swagelok) Serie R. Válvulas de alivio de presión proporcional. Para líquidos o gases. Presiones de disparo a elegir en el rango 0.7 hasta 413 bar. La mejor opción es la Serie R3A con junta de neopreno: temperatura máxima 148°C y presión máxima 321 bar.
- (Mecesa) Serie Si 0329. Presiones de disparo a elegir en el rango 0.45 hasta 400 bar. Temperatura entre -270°C hasta +400°C.

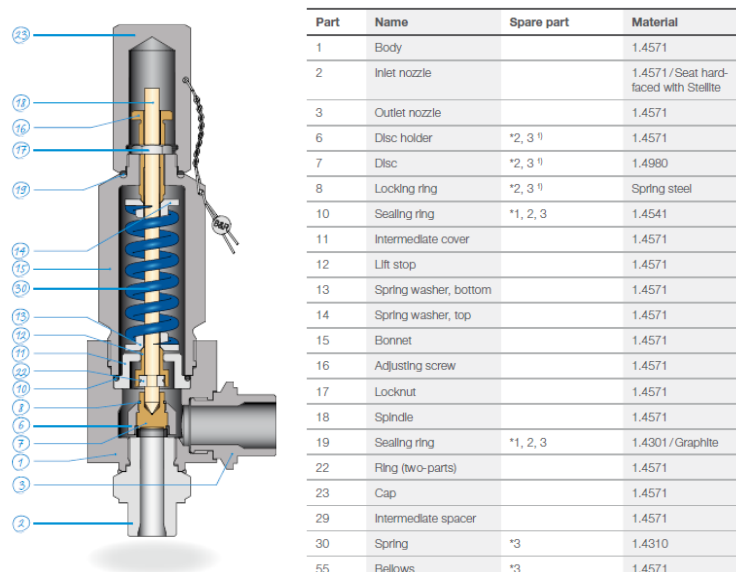
Al analizar estos modelos y otros similares, llegamos a la conclusión de que hay una limitación generalizada en temperatura (no en presión) que nos ha dificultado encontrar alguna que resista hasta los 350°C. La causa común es que la zona de sellado suele estar realizada con elementos de teflón (PTFE) o gomas que no pueden soportar temperaturas tan altas. En particular, en cuanto a los materiales con los que se fabrican los elementos de la junta sellante, son típicamente

- PTFE, que emana gases tóxicos a partir de los 260°C y sublima en el entorno a los 340°C (depende de la marca concreta).
- Vitón. Hasta 180°C.
- Neopreno. Hasta 150°C.
- Otros (flurorocarbono FKM, Buna N o Etileno propileno hasta 120°C y perfluorocarbono FFKM hasta 90°C)

Finalmente hemos determinado que la única opción comercial que valdría para nuestro proyecto por los rangos de trabajo que permite sería:

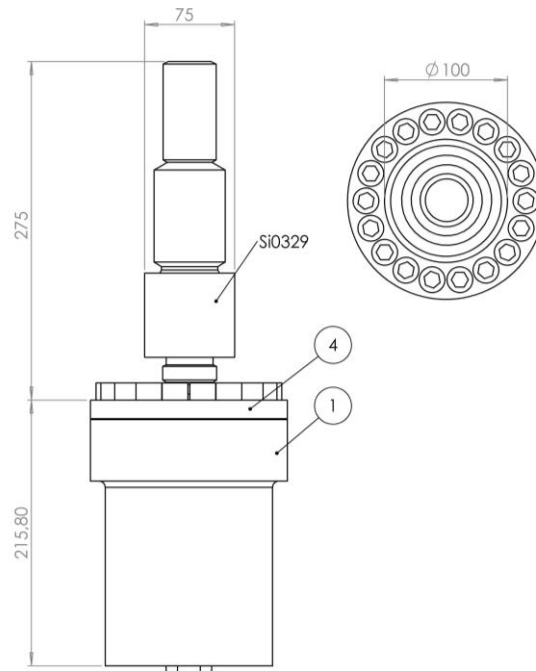
Serie Si 0329 de Mecesa. Presiones de disparo a elegir en el rango 0.45 hasta 400 bar. Temperatura: -270°C hasta +400°C.

Como se observa en la sección de la válvula que mostramos a continuación,



Tenemos que el dispositivo por si solo cuenta con unas 30 piezas distintas, lo que deja patente la complejidad de su diseño frente al que proponíamos nosotros de 3 piezas. La mayor parte de éstas están fabricadas en acero inoxidable 1.4571 excepto dos anillos sellantes, uno de acero para muelles (AISI 302/304 previsiblemente) y uno de grafito. Finalmente, se puede observar que en la zona en la que el punzón cierra el paso al flujo no hay ninguna junta, sino que es metal con metal.

Para validar nuestra elección, hemos tomado de la hoja de características las principales dimensiones del modelo anterior (proporcionada por Swagelok a petición nuestra, ver anexos) y hemos dibujado un modelo en CATIA para visualizar la válvula acoplada a nuestro equipo y poder ver cómo se haría el montaje,



Finalmente hemos llegado a las siguientes conclusiones,

- A la vista del modelo de la válvula Si0329 integrado con nuestro dispositivo, se tiene que la altura de dicha válvula sería excesiva ya que sería incluso más alta que la vasija. Así mismo el diámetro externo de la válvula no dejaría espacio suficiente para las otras entradas/salidas ya que disponemos de un círculo de diámetro D100mm y solo el de la válvula es de D75mm.
- Así mismo se pidió un presupuesto de una unidad de este modelo, revelándose un coste excesivo de 2.247,00 € (del orden del propio mecanizado del recipiente) y un plazo de fabricación y entrega fuera de nuestro alcance de entre 12-14 semanas.
- Se ha terminado por abandonar la opción de adquirir esta solución comercial o cualquier otra de las anteriores. En su lugar hemos determinado seguir la vía que explicamos a continuación.

5.1.3. Solución final.

Como hemos comprobado, la selección de la válvula no se limitaba a escoger aquella que tuviera el rango de operación más amplio sino que también las dimensiones pueden ser excesivas por el tamaño y cantidad de partes que se alojan en su interior. Basándonos en que,

- Un desarrollo de una válvula de alivio a medida más pequeño sería posible pero irrealizable, ya que no podríamos garantizar un funcionamiento adecuado y seguro como el de las válvulas comerciales en el tiempo que disponemos, y que
- La instalación de la válvula de alivio no aporta valor añadido a los ensayos sino que es una mera medida de seguridad que se abre solo en caso de necesidad,

Hemos decidido emplear a modo de válvula de alivio una válvula de punzón comercial, es decir, sería una válvula de paso que abríamos manualmente en caso de emergencia. En cualquier caso, esta sí que tendría unas dimensiones suficientemente reducidas y el rango de operación que necesitamos, siendo el modelo escogido

Serie F10 de Swagelok. Válvulas de aguja de cuerpo forjado.

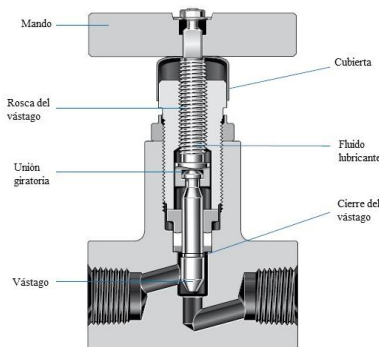
Con características,

Componente	Calidad/Especificación ASTM
Cuerpo	Acero inox. F316/316L/A182
Aguja, arandela del manguito	S17400 SS/A564 calidad H1150D
Empaquetadura	PTFE o grafito
Lubricante	Disulfuro de molibdeno con portador de hidrocarburo
Tuerca del manguito, carcasa, vástago, manguito, mando, tuerca de bloqueo del mando, anillo del mando, tuerca del bonete	Acero inox. 316

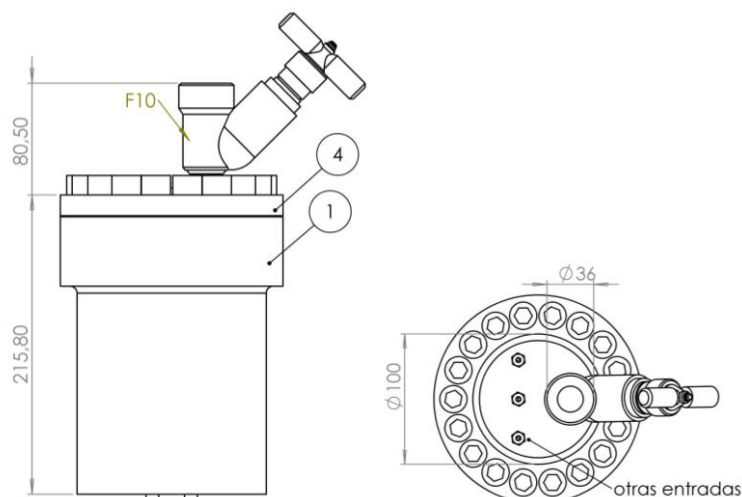
Componentes húmedos mostrados en cursiva.

Temperatura, °C (°F)	Material de la empaquetadura	
	PTFE	Grafito
	Presión de servicio bar (psig)	
-17 (0) a 93 (200)	689 (10 000)	689 (10 000)
148 (300)	551 (8 000)	623 (9 050)
204 (400)	413 (6 000)	561 (8 150)
260 (500)	—	509 (7 380)
315 (600)	—	459 (6 666)
371 (700)	—	413 (6 000)
426 (800)	—	367 (5 333)
454 (850)	—	344 (5 000)

- Presiones de servicio hasta 689 bar. En particular, como se lee en la tabla para 371°C, la presión máxima sería de 413bar.
- Temperaturas hasta 454°C con empaquetadura de grafito.
- Cuerpo forjado de acero inoxidable F316/F316L. Modelo oblicuo.
- Presupuesto de una unidad de 280,55€ con plazo de entrega de 2 semanas.



Para comprobar que las dimensiones se ajustan a nuestras necesidades, hemos modelado en CATIA el producto seleccionado con las dimensiones que da la hoja del fabricante y vemos que los resultados son satisfactorios dejando suficiente espacio libre como para dar cabida a las otras tres entradas/salidas,



El empleo de esta válvula tendría las siguientes particularidades,

- Al ser simplemente una válvula de paso, la apertura la realizaríamos de forma enteramente manual, abriendo ligeramente la válvula en caso de que viéramos que la presión crece sin control o por otro motivo. Lógicamente tendríamos que añadir una entrada para un manómetro.

- Tiene doble funcionalidad. Además de que la utilicemos como válvula de alivio, dado que el dispositivo tiene que recargarse de agua líquida cada vez que se quiera operar, esta válvula es en todo caso necesaria para esta labor, dado que si no tendríamos que desatornillar el aparato continuamente o hacer la recarga con una bomba por una entrada de las pequeñas.
- Así mismo, ya que la apertura en funcionamiento supondría la evacuación de vapor a alta temperatura, recomendamos roscar un codo o un pequeño tramo de tubo a la salida de la válvula que mande la corriente hacia fuera del equipo y del usuario.

Como conclusión, dado que el equipo finalmente no se ha podido fabricar por falta de fondos, en caso de retomar el proyecto y de disponer de tiempo como para ello, recomendamos diseñar una válvula de seguridad pequeña a medida y añadirla a las entradas ya existentes (sin quitar la F10, que sirve de recarga). Como hemos dicho previamente, garantizar un funcionamiento y seguridad equivalentes a los de un modelo comercial requeriría un desarrollo considerable pero necesario en caso de que el aparato que proponemos en este TFM tenga aplicación comercial.

5.2. Válvulas de aguja.

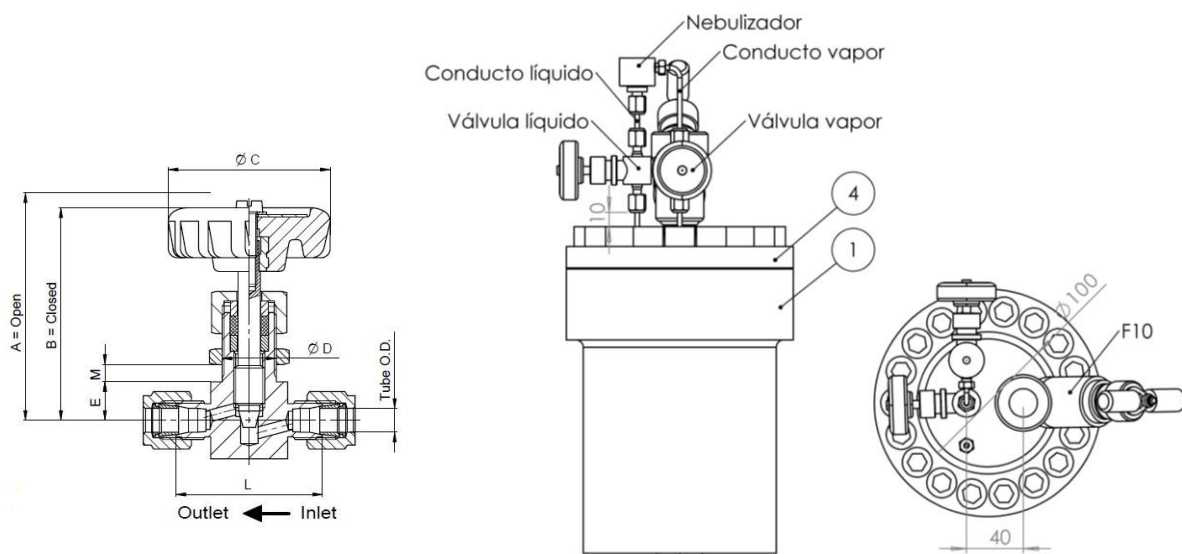
Las válvulas de aguja son las válvulas de paso que controlan el caudal de nuestras corrientes líquido y vapor, las cuales no hemos considerado que precisen un diseño propio ya que existen multitud de soluciones comerciales por un precio razonable. Hemos examinado las hojas de características de varios modelos y la mayoría suelen tener rangos de operación adecuados para nuestra aplicación. Para que sirva como referencia para futuros proyectos, algunos de los modelos analizados han sido los de las series B44 y B46 de Mecesa; 01, 38 y 02 Megaldap (proveedor Mecesa); y las series GU y 6DB de Swagelok.

Finalmente se han escogido para ambas corrientes dos unidades de

Válvula Megaldap TxT de presión máxima de hasta 3.705 PSI (260bar)

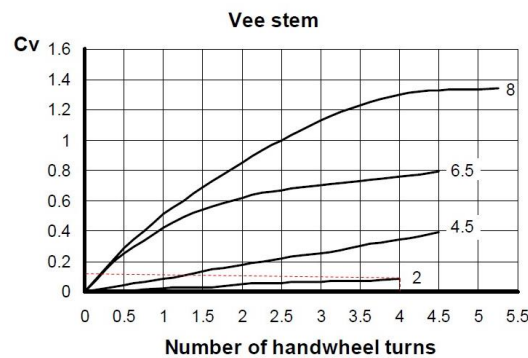
Este modelo presenta la ventaja de se pueden conectar directamente los tubos de 1/8" (los que tenemos en el laboratorio) a la entrada y salida de la válvula ya que llevan incorporadas las ferrulas y las "external nuts" con la métrica adecuada. Por otro lado, el material de la válvula y de su empaquetadura es acero 316, y tiene una presión máxima de 3600 psi (248bar) y temperatura máxima de operación de 662°F (350°C) recomendados.

Hemos modelado en CATIA las válvulas anteriores para poder valorar su integración del resto del equipo y como se puede observar, es fácil posicionarlas de manera que no colisionen con la válvula F10 de alivio/recarga y sin dejar expuesta mucha longitud de conducto (la cual hay que recubrir de lana de roca para evitar pérdidas),



CONNEX.	ORIFICE	MAX. C_v		SIZES								REFERENCES (1)	
		STEM		A	B	C	D	E	L	M		VEE STEM	REGULATION STEM
		VEE	REG.										
1/8" O.D.	2	0.085	0.075	57.5	53.4	35	12	10	37.4	7		0103WP	0103WR
6 O.D.	4.5	0.17	0.16	58	54	42	14	10	40.8	7		0106WP	0106WR
1/4" O.D.	4.5	0.17	0.16	58	54	42	14	10	40.8	7		0107WP	0107WR
8 O.D.	4.5	0.17	0.16	58	54	42	14	10	42	7		0108WP	0108WR
3/8" O.D.	4.5	0.39	0.37	58	54	42	14	10	43.8	7		0109WP	0109WR
10 O.D.	4.5	0.39	0.37	58	54	42	14	10	43.8	7		0110WP	0110WR
12 O.D.	6.5	0.79	0.6	76.5	69.5	52	20	13	51.8	5.5		0112WP	0112WR
1/2" O.D.	6.5	0.79	0.6	76.5	69.5	52	20	13	51.8	5.5		0113WP	0113WR
3/4" O.D.	8	1.34	1.08	93	85	65	24	16	55.8	12		0119WP	0119WR

La única comprobación que tenemos que hacer es calcular a partir del coeficiente de caudal C_v la pérdida de carga que introduciría la válvula para ambas corrientes y comprobar si no es excesiva. De la gráfica siguiente (o la tabla anterior) de la hoja de características,



tenemos que el coeficiente de caudal máximo para nuestro modelo (orificio de 2mm) se alcanza a las 4 vueltas, y asciende a $C_v \approx 0.1 \text{ gpm}/\sqrt{\text{psi}}$ (unidades imperiales) que nos permite calcular la pérdida de carga Δp como

$$\Delta p = SG \cdot \left(\frac{Q}{C_v} \right)^2 [\text{psi}]$$

Donde Q es el caudal en galones por minuto y SG es la gravedad específica del fluido definida como el cociente entre la densidad del fluido y la densidad del agua a temperatura ambiente. Convirtiendo todo a SI obtenemos los siguientes resultados para valores típicos de operación de nuestro equipo,

Corriente	ρ [kg/m ³]	SG	$C_v \left[\frac{\text{gpm}}{\sqrt{\text{psi}}} \right]$	$K_v \left[\frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{bar}} \right] = C_v$	$Q \left[\frac{\text{mL}}{\text{min}} \right]$	Δp [bar]
Líquido	700	0.7	0.1	0.0865	10	4.7e-4
Vapor	100	0.1				6.8e-5

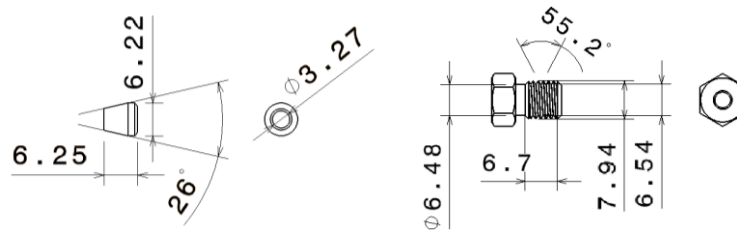
Resultando unos valores de $\Delta p \ll 20 \text{ MPa}$ despreciables por nuestros bajos caudales del orden del mL/min.

5.3. Roscas de las entradas.

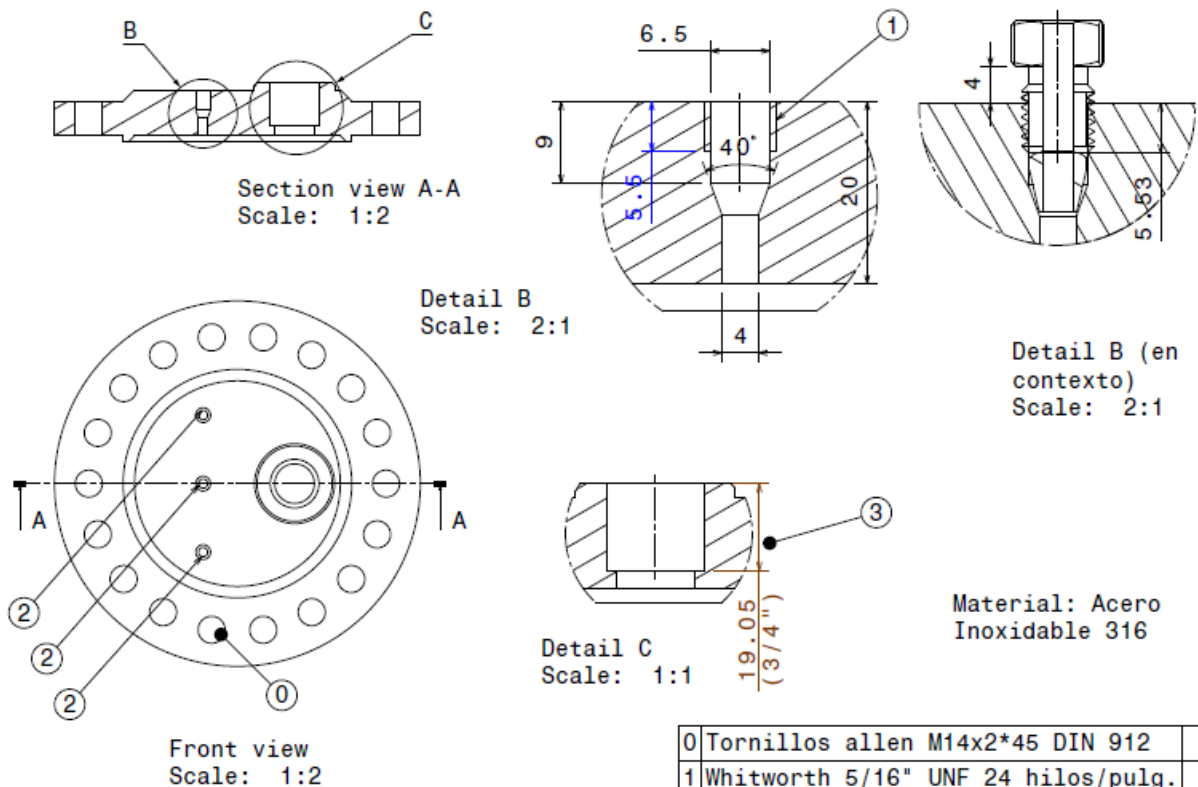
Como paso indispensable para el mecanizado de la tapadera, hemos determinado las dimensiones de roscas y cavidades que harían falta para todas las entradas que necesitamos, en particular, habría dos tipos de roscas:

- 3 roscas Whitworth de 5/16" UNF de paso fino de 24 hilos por pulgada, que es la métrica que tienen las nuts ZN2 de VALCO que sirven para apretar las ferrulas ZF2S6 para tubos de 1/8" del laboratorio.

Tanto este tipo de ferrulas, como las nuts y los tubos de 1/8" están disponibles en el laboratorio en gran cantidad.



Las dimensiones de estos componentes y de la rosca las hemos medido directamente en el laboratorio y contrastado con las medidas de los modelos tridimensional de estos mismo productos que descargamos de la web de VALCO. Así mismo, las dimensiones de las cavidades en las que van alojados la ferrula, la profundidad de la rosca, el diámetro del conducto y el resto de las medidas (detalle B abajo) de esta entrada las hemos hecho idénticas a las del nebulizador, para tener la certeza de que todo encaje bien.



0	Tornillos allen M14x2*45 DIN 912
1	Whitworth 5/16" UNF 24 hilos/pulg.
2	Idénticas (Detalle B)
3	Aquí va macho 1/2" NPT

- 1 rosca NPT 1/2" hembra con una profundidad de 3/4", en donde iría roscada la válvula de seguridad/alivio F10 (ver detalle C). Esta requiere sellante especial dado que poner cinta de teflón está descartado. En vez de ello se puede utilizar masilla sellante de la marca DEACON que es una marca de selladores líquidos de curado térmico que se usan en aplicaciones de alta temperatura y alta presión para recipientes a presión con vapor. Hemos analizado el catálogo y valdría el 4011-P que resiste entre 315°C a 732°C y que sella bien hasta los 758 Bar.

6 PRESUPUESTO

A continuación exponemos el desglose de los componentes que conforman el proyecto de forma final así como el cómputo total del desembolso. Para una futura construcción del dispositivo también puede ser necesario remitirse a los presupuestos que se han pedido de todos estos componentes, por lo que se han añadido en los anexos.

Nº	Componente	Precio total [€]	Fabricante/ Proveedor	uds
1	Cilindro de la vasija			1
2	Vástago	2.800,00	Sokar Mechanics	1
4	Tapadera			1
RESISTENCIA DE CARTUCHO				
3	20x130x2200Wx230v+cable standard (250mm)	46,25	Suministros Riol S.A.	1
5	TORNILLO CABEZA CILÍNDRICA “ALLEN” DIN 912 CALIDAD 12.9 M14x2, L45mm	30,60	Tornillería Ocma	18
15, 16	VALV. MEGALDAP TXT 1/8OD PASO 2MM. EJE PUNZON ESTOP.GRAFOIL Referencias: 0103WPG1 y 124062577	188,00	Mecesa	2
14	SPC-VAL.AGUJA 10.000 PSI 1/2NPT - OBLICUO – GRAFIT. Referencia: FYN44NCT	280,55	Swagelok	1
7	Junta sellante de grafito	52,46	Manufactures Cusell S.L.	1
n.a.	Electrónica control temperatura	35,33	Autor	1
13	Nebulizador de alta presión	Disponible	US	1
8	Nuts 1/8” 310107-ZN2	Disponible	VALCO	3
9	Ferrulas 1/8” 310126-ZF2S6	Disponible	VALCO	3
10, 11, 12	Otros (tubo de 1/8” y external nut 1/8” EN2)	Disponible	Laboratorio	n.a.

Total: 3.443,19 €

A la vista del presupuesto del proyecto podemos sacar la siguientes conclusiones,

- Es un precio mucho menor que la adquisición de las dos bombas de HPLC ya que como explicamos en apartados anteriores la opción más barata para actualizar las bombas habría sido la LC 20 AD (Shimadzu) por un precio unitario de 4.818,53 € y de estas habría que adquirir dos unidades.
- A la vista está que el principal gasto es el mecanizado de las piezas 1,2,4, siendo el coste de los tres componentes el último precio que nos dieron de Sokar Mechanics y cuya fabricación no llevaría en sí más allá de una semana en palabras de los propios técnicos.
- Una segunda categoría de gasto sería la constituida por las válvulas 14, 15 y 16 que son componentes comerciales de cierta calidad y complejidad, que tardan un par de semanas a lo sumo en prepararse y entregarse.
- Finalmente, la última categoría de gastos la constituirían la resistencia, la tornillería, junta y la electrónica, siendo componentes en este caso fácilmente disponibles.
- Es un desembolso perfectamente asumible para un proyecto de investigación de una universidad y efectivamente su no-realización no ha sido debido a su coste sino a no poder disponer el Departamento de su propio dinero este cuatrimestre.
- En caso de materializarse el proyecto en una solución comercial, el precio unitario sería suficientemente bajo como construir varias unidades, incrementando el caudal disponible y, por tanto, la cantidad de nanopartículas producidas.

7 DIFICULTADES ADMINISTRATIVAS

La idea de este proyecto era la de realizar el diseño que hemos presentado a lo largo de la memoria para finalmente mecanizar y comprar las piezas y ensayarlo experimentalmente. La etapa de diseño se ha prolongado hasta finales de mayo, momento en el cual ya teníamos todo presupuestado (mecanizado principal inclusive), los pedidos de los demás componentes ya se encontraban resueltos y en camino y ya disponíamos de algunos de ellos como la resistencia, la tornillería, el aislamiento, las uniones o la electrónica.

Como no esperábamos que el proyecto se truncara por falta de fondos, intentamos por todos los medios acelerar la etapa de diseño para que diera tiempo de realizarlo todo en un cuatrimestre. Esta fase dependía en tiempo de dos componentes,

- Una que dependía del autor: hablando con Sokar, haciendo cálculos, pidiendo presupuestos, examinando catálogos y discutiendo con el tutor las diversas soluciones que íbamos proponiendo para decidir qué vía tomar,
- Y otra que dependía de la propia Universidad a la hora de realizar los trámites para aceptar los presupuestos o comprar cualquier componente.

Aunque la primera nos ha llevado más de lo esperado, esta última es la que más nos ha ralentizado puesto que, para cualquiera de los componentes que finalmente se decidió adquirir, el autor ha tenido que dedicar buena parte de su tiempo en conseguir que las empresas le proporcionaran los documentos (presupuestos y facturas) en formato tal que satisficiera al Departamento de Pedidos de la Universidad. Estas son las dificultades administrativas que se han encontrado para los principales componente del dispositivo:

- Resistencia (3). Este componente se compró a Suministros Riol (SURISA). Inicialmente quisimos hacer el trámite de la forma legal, es decir, pedimos presupuesto y cuando decidimos comprarlo, les pedimos una factura con los códigos y datos de la Universidad, a lo cual la empresa mostró bastante reticencia por tratarse de un componente tan barato.

Conseguimos que nos la hicieran y les pedimos que nos la fueran enviando porque la resistencia constituía un cuello de botella de cara a la realización del mecanizado. No obstante SURISA nos dijo que no nos podían enviar la resistencia hasta que ellos recibieran el ingreso del importe, tarea que por la vía legal conllevaría una espera de tres semanas mínimo, es decir, el tiempo mínimo en que paga la Universidad una vez que se acepta la compra (que a su vez lleva varias semanas más).

En vista de estos plazos inasumibles, se tuvo que llegar a un acuerdo con SURISA por medio del cual el autor tuvo que poner de su bolsillo el coste de la resistencia a cambio de que SURISA le realizara el reintegro en su cuenta una vez la Universidad les hiciera la transferencia a ellos. Finalmente el reintegro nos lo hicieron un mes después de realizar el autor la compra.

- Válvula de alivio/recarga (14). Como se explica en 5.1.2 hemos tenido que preguntar precios y características de otras opciones previamente a varias empresas (Mecesa, Swagelok, Goetze) las cuales nos han respondido relativamente rápido por correo y por teléfono con la información deseada. Finalmente se decidió comprar a Swagelok.

Tuvimos el problema de que esta empresa no nos daba presupuesto con los códigos que quería la Universidad, sino facturas propias suyas sin los códigos que les enviábamos, dando incluso la impresión de que estas facturas las generaba automáticamente un programa puesto que les escribimos en repetidas ocasiones para solucionar los problemas y nos respondían enviándonos la factura otra vez idéntica. Tras insistirles varias veces personalmente por teléfono y pedirles que lo corrigieran un par de veces, conseguimos que nos enviaran factura Proforma con los códigos y algunos datos más que requería la Universidad. Finalmente la Universidad nos rechazó nuevamente la factura proforma aunque tenía todos los datos que querían y, en vista de que Swagelok ya había hecho bastante, tuvimos que retocar con Photoshop la factura para eliminar la palabra “proforma” y de este modo conseguimos que la Universidad la aceptara y Swagelok enviara la válvula.

La válvula llegó pronto, el 17 de mayo, ya que la Universidad había trabajado previamente con

Swagelok y la empresa tenía confianza de que recibiría el pago aunque fuese tarde. Sin embargo, como se abortó la construcción del equipo por falta de fondos para el mecanizado, finalmente se intentó devolverla, pero como la empresa solo aceptaba devoluciones en la primera semana desde la realización del pedido, el Departamento tuvo que quedarse la válvula. No habría este tipo de problemas si el tiempo de respuesta de la Universidad fuera de días y no de semanas o meses.

- Válvulas de aguja (15, 16). Estos productos se decidieron comprar a Mecesa. De nuevo tuvimos que hacer varios intentos hasta que la empresa nos envió el presupuesto tal y como lo quería la Universidad ya que nos enviaban como es lógico el documento que ellos suelen proporcionar con cierta información sobre el pedido y por supuesto con el número de cuenta en el que realizarles en ingreso, que es lo único que realmente quiere la empresa.

En este caso, tras varias peticiones como cambiar el título de “Pedido de Ventas” por “Prepuesto”, añadir el IVA explícitamente y poner los códigos, la empresa empezó a tardar más en respondernos hasta el punto en que tuvimos que amenazarles con que cambiaríamos de proveedor si nos enviaban los documentos para tramitar el pedido pronto.

Finalmente la Universidad aceptó la compra y Mecesa nos envió factura, tras lo cual tuvimos que pedirles cancelar el pedido al comunicárseles la falta de fondos.

- Mecanizado (1,2,4). Lo iba a realizar Sokar Mechanics. En este caso estuvimos manteniendo el contacto a lo largo de los meses que duró el diseño con su responsable de mecanizado en 5 ejes, Juan Antonio Pichardo. Es con quien hemos ido negociando las modificaciones, recibiendo su propuestas de cambio y comprobando nosotros si las podíamos aceptar. Trabajar con Sokar en este sentido fue cómodo ya que era una empresa con la que la Escuela sí había trabajado previamente y pese a las previsibles demoras en el pago, estuvieron dispuestos a trabajar con nosotros desde el primer momento.

Para las diferentes versiones se nos dieron siempre órdenes de magnitud sobre el precio que tendría la realización del mecanizado (varios miles al principio, luego 1250€, etc.), pero finalmente para la última versión a la que llegamos nos dieron un precio casi definitivo de unos 2800€ a lo que habría que añadir del orden de unos 200€ porque todavía estaban trabajando en presupuestar la soldadura.

Finalmente, al comunicar este precio casi definitivo al tutor se comenzaron los trámites para ir preparando estas cantidades sin más demora, pero fue entonces cuando se nos comunicó que por motivos relacionados con la Administración no se habían resuelto todavía las convocatorias de este año, y los proyectos actuales a los que se iba a cargar el coste de este TFM se estaban quedando sin fondos con gastos prioritarios. Por tanto, no se podían hacer gastos de esta magnitud hasta que se resolvieran, encontrándonos ya casi a final de curso.

Con Sokar seguimos manteniendo el contacto para que al menos nos enviaran el pdf con el presupuesto y adjuntarlo a la memoria, pero en cuanto les comunicamos que finalmente no íbamos a poder pagar el mecanizado y que no se iba a poder realizar, nos fueron dejando de devolver las llamadas y contestar a los correos en los que les pedíamos que al menos nos enviaran el documento.

A la vista de estas dificultades administrativas con las que nos hemos encontrado, podemos sacar las siguientes conclusiones,

- La labor del autor tendría que haber sido única y exclusivamente el diseño y selección de los componentes, y luego el montaje y ensayo. El objetivo realmente era ensamblar el aparato para realizar ensayos con la mayor presteza, no dedicarse a discutir con las empresas el formato en que darnos las facturas; eso debería haber sido tarea que realizara personal administrativo del propio Departamento de la Universidad o un Departamento de Pedidos, que se encargase de tramitarlo completamente. El autor en su condición de alumno no tiene por qué estar al tanto de esta burocracia, dado que no tiene control sobre ello.
- Los problemas asociados a la tramitación de los pedidos se pueden resumir en,
 - Tiempos de aceptación de compra y pago inasumibles. Dando lugar a plazos de entrega excesivos, que demoran el proyecto e impiden su avance.

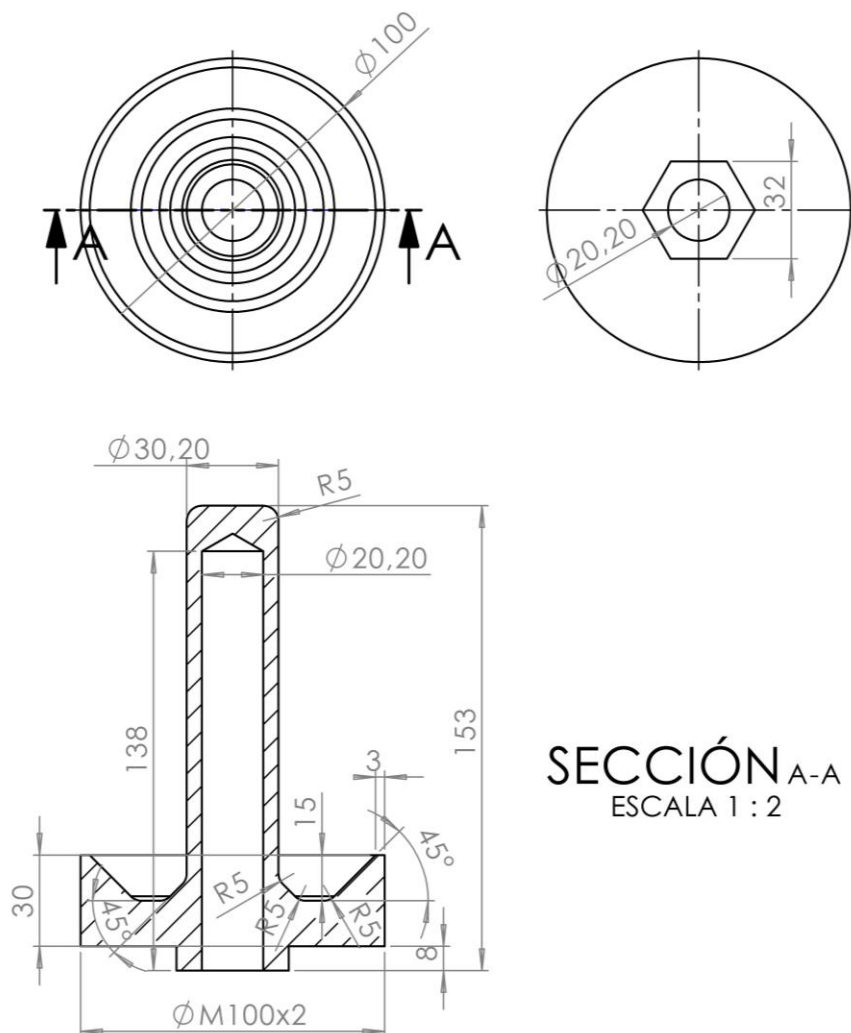
- Desconfianza de empresas con las que no se ha trabajado antes, como SURISA o Mecesa, que o bien exigen el pago por adelantado o simplemente pierden el interés por continuar el pedido por la excesiva burocracia asociada incluso a compras pequeñas.
 - Lo único que quieren las empresas es recibir el ingreso en su cuenta y saber a quién enviar el pedido. Toda la burocracia adicional de la tramitación no les aporta valor alguno.
- Como ya hemos mencionado anteriormente, tras sortear los problemas anteriores, el escollo final que ha terminado por paralizar el proyecto ha sido la falta de liquidez para afrontar el coste del mecanizado, obligándonos a cancelar todos pedidos en curso, haciéndoles perder un tiempo a las empresas con las que hemos trabajado, y sentando un fatal precedente para trabajos futuros con ellas.

8 ANEXOS

En esta sección adjuntamos documentos que serán de utilidad en caso de retomar la construcción del equipo. Están ordenadas por orden de importancia:

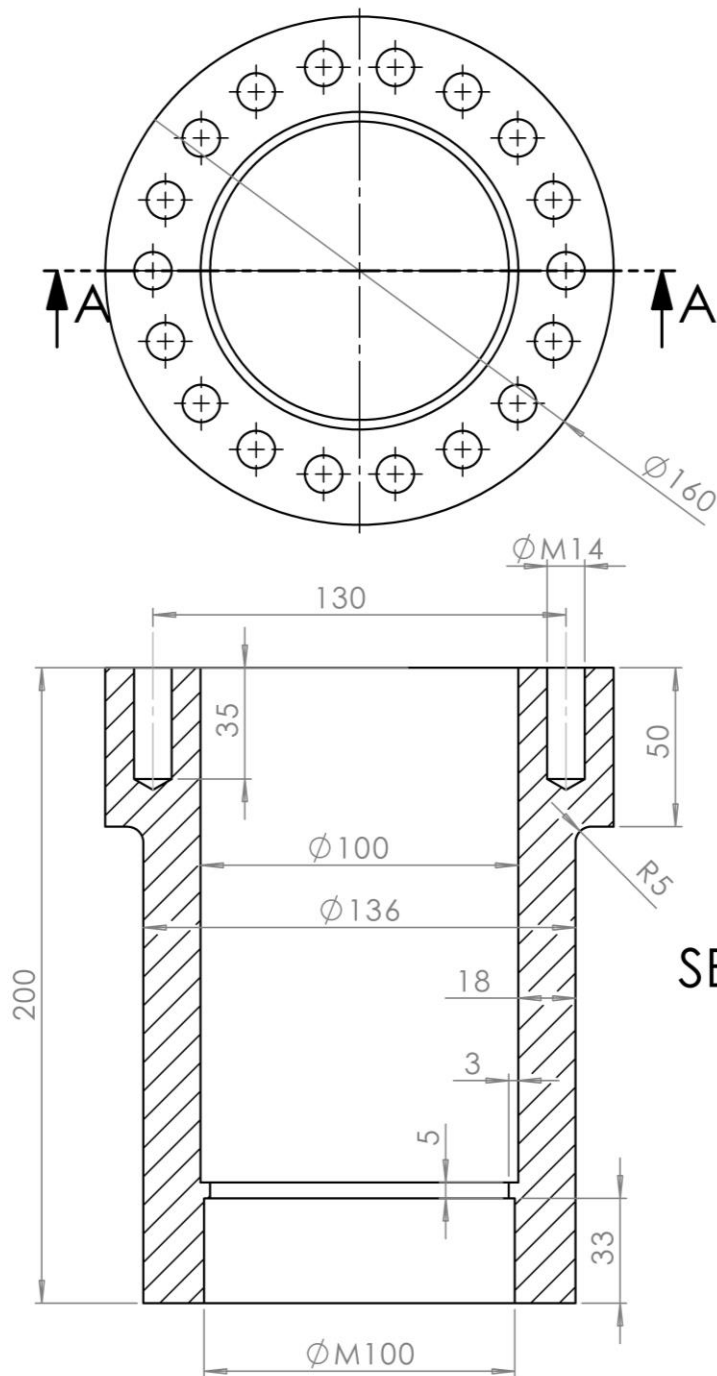
- Planos de la última de versión del mecanizado presupuestado.
- Presupuestos.
- Códigos de MATLAB del apartado 21.
- Hojas de Características

8.1. PLANOS.



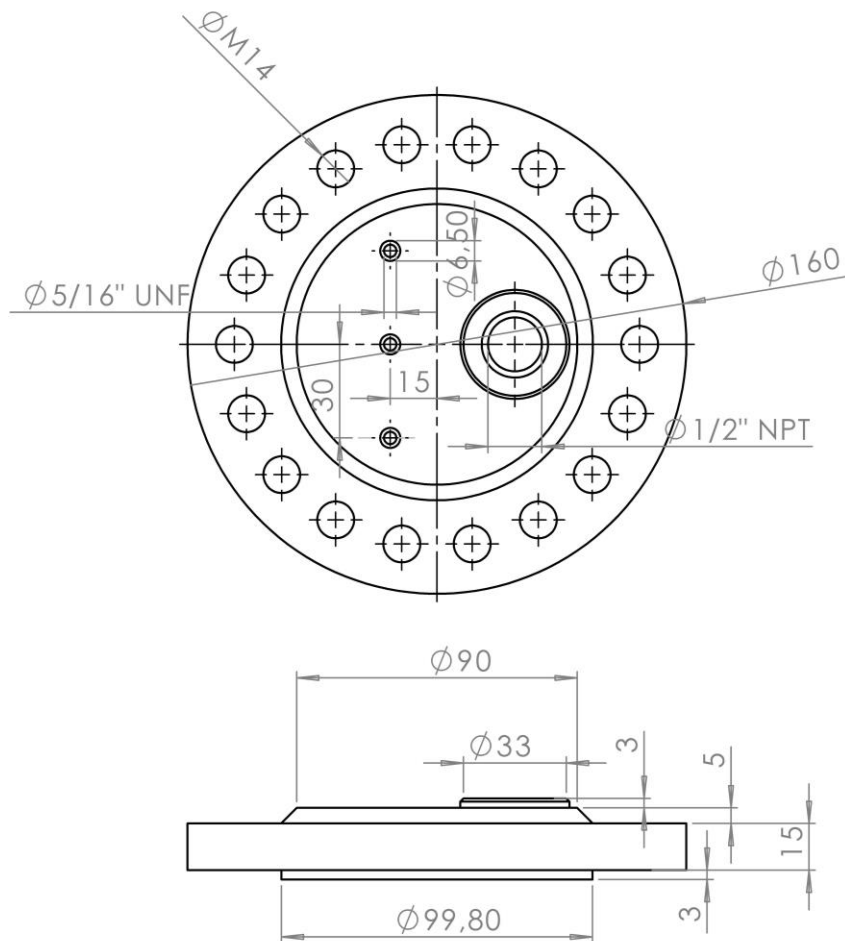
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:		Vástago v3	
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.											
						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
						Acero 316					
						PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
						TÍTULO: Cilindro vasija	
						N.º DE DIBUJO	
						A4	
MATERIAL: Acero 316						ESCALA: 1:5	
PESO:						HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA			
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.						

TÍTULO:

Tapadera

N.º DE DIBUJO

A4

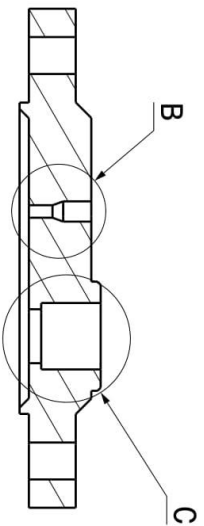
MATERIAL:

Acero 316

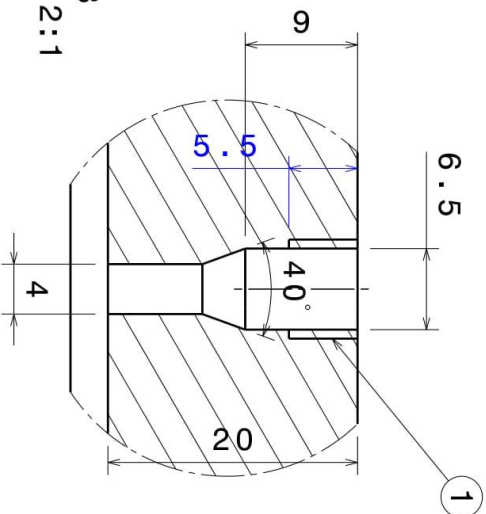
PESO:

ESCALA: 1:2

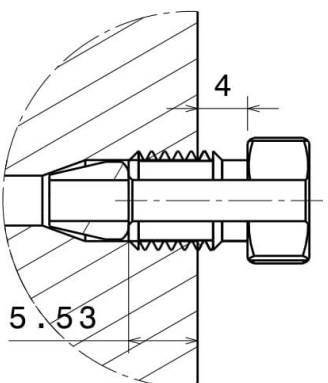
HOJA 1 DE 1



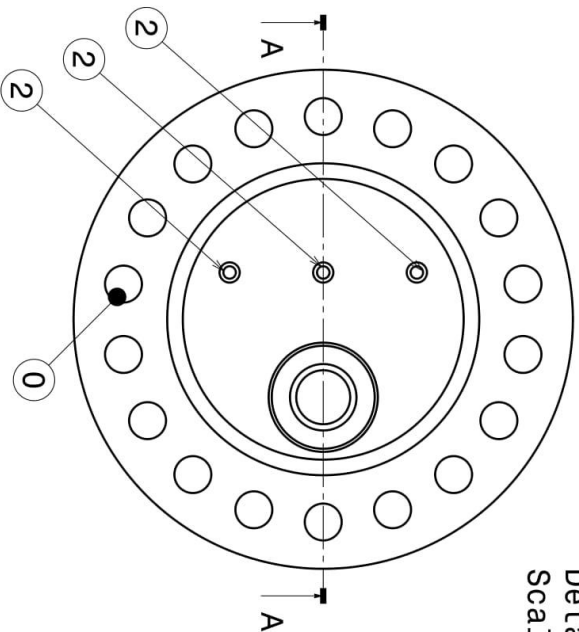
Section view A-A
Scale: 1:2



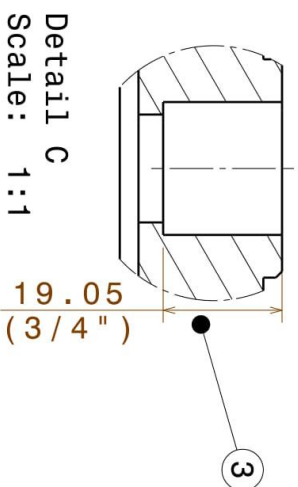
Detail B
Scale: 2:1



Detail B (en
contexto)
Scale: 2:1



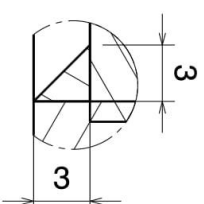
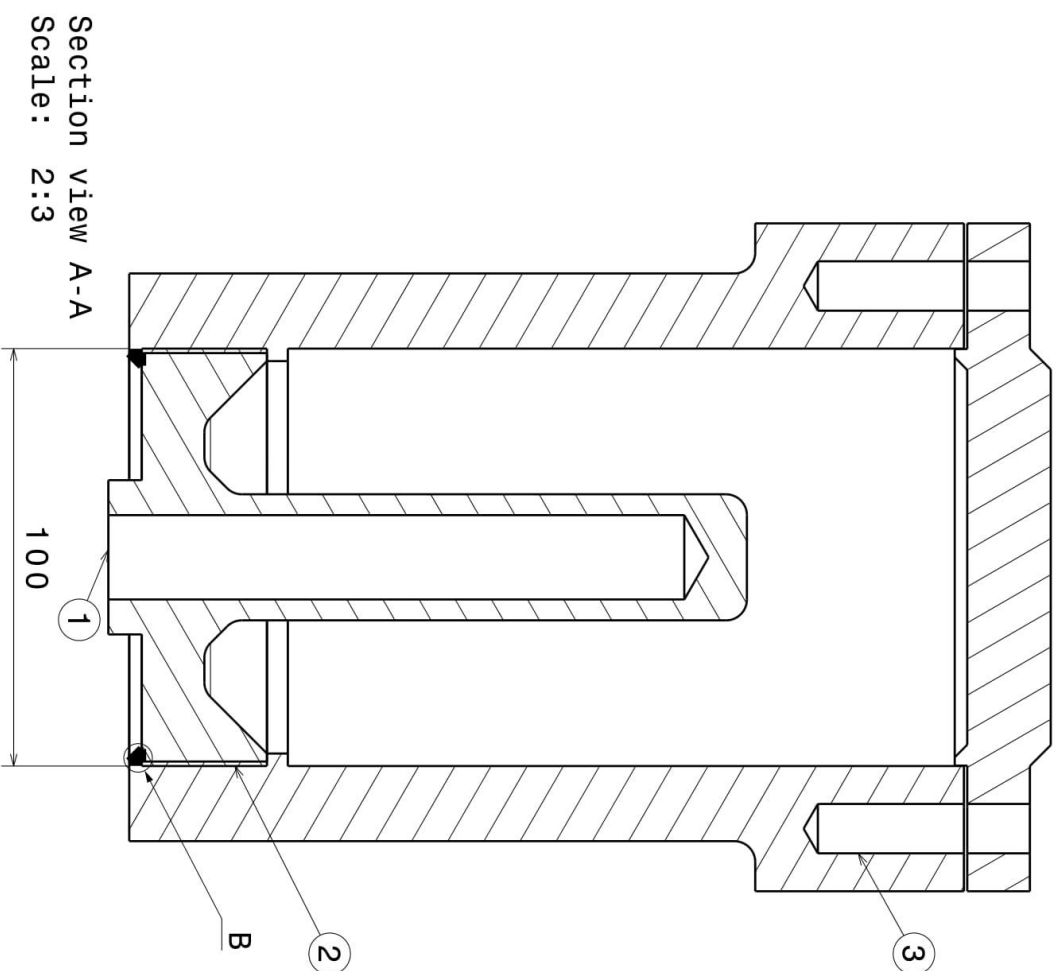
Front view
Scale: 1:2



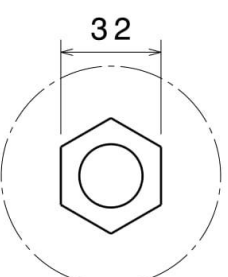
Detail C
Scale: 1:1

Material: Acero
Inoxidable 316

0	Tornillos allen M14x2*45 DIN 912	
1	Whitworth 5/16" UNF 24 hilos/pulg.	
2	Idénticas (Detalle B)	
3	Aquí va macho 1/2" NPT	



Detail B
Scale: 3:1



Detalle 1
Scale: 1:2

B	Cordon de soldadura	Espesor de a >= 3mm	Minimo
1	Apriete con llave	Llave 32	Para realizar apriete antes de soldadura
2	Unión roscada vástago-cilindro	M100x2	El paso puede ser más pequeño o similar
3	Tornillos unión de tapa-cilindro	M14x2 allen L 45	Comprados

Table 7. Estimating the diameter range of bolts

1	2	3	4
Load in N	Nominal diameter in mm		
	Strength grade		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1000			
1600	3	3	3
2500	3	3	4
4000	4	4	5
6300	4	5	5
10000	5	6	8
16000	6	8	8
25000	8	10	10
40000	10	12	14
63000	12	14	16
100000	16	16	20
160000	20	20	24
250000	24	27	30
400000	30	36	
630000	36		

Example

A joint is dynamically and eccentrically loaded by the axial load $F_A = 8500$ N. A bolt of strength grade 12.9 is to be assembled using a torque wrench.

A 10 000 N is the next largest load to F_A in column 1.

B 2 steps for 'eccentric and dynamic axial loading' give $F_{Mmin} = 25 000$ N.

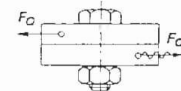
C 1 step for 'tightening using a torque wrench' gives $F_{Mmax} = 40 000$ N.

D For $F_{Mmax} = 40 000$ N, we find in column 2 (strength grade 12.9): M10.

A Select the lowest load from column 1 which is higher than the working load F_A acting on the bolted joints.

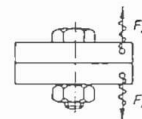
B The required minimum initial clamp load F_{Mmin} is determined by increasing this column 1 load by further

4 steps for static or dynamic transverse loads



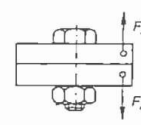
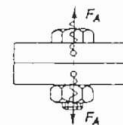
or

2 steps for dynamic or eccentrically applied axial loads



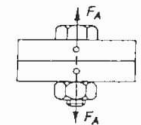
or

1 step for dynamic and concentrically applied or static and eccentrically applied working loads



or

0 steps for static and concentrically applied axial loads.



C The required maximum initial clamping load F_{Mmax} is determined by increasing this load F_{Mmin} by:

2 steps for tightening the bolt using a simple tightening spindle which has been set by the retightening torque, or

1 step for tightening using a torque wrench or precision spindle adjusted and controlled by means of dynamic torque measurement or elongation measurement of the bolt, or

0 steps for tightening by means of angle control in the plastic range or by means of computer controlled yield load monitoring.

D Next to the number found, columns 2 to 4 give the required bolt dimensions in mm for the selected bolt strength grade.

8.2. PRESUPUESTOS



MECANICA EGARENSE, S.A.
C/ Joan Monpedó, 31-37
08223 - Terrassa - Barcelona
(SPAIN)
www.mecesa.com

PEDIDO DE VENTAS		Nº 114180		Fecha 15/04/2019 Página 1
DIRECCIÓN FISCAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS UNIVERSIDAD DE SEVILLA CAMINO DE LOS DESCUBRIMIENTOS, S/N 41092 ISLA CARTUJA SEVILLA C.I.F : Q4118001I		DIRECCION DE ENVIO C.N.ACCELERADORES-UNIVERSIDAD SEVILLA UNIVERSIDAD DE SEVILLA CAMINO DE LOS DESCUBRIMIENTOS, S/N 41092 ISLA CARTUJA SEVILLA 00842		
Nº PEDIDO CLIENTE Miguel Ángel Zayas	REPRESENTANTE IGNACIO SABIDO	CONTACTO	FECHA ENT. 29/04/2019	
TRANSPORTE SEUR-COD.499	PORTES En factura	PESO NETO 0,0000	DIVISA €	
CREDITO CONCEDIDO 3.006,00	RIESGO 2763,03	CONDICIONES DE PAGO CONTADO		

Referencia	Descripción	Cant.	Precio	Importe	F.Entrega
100 M88001PGV000.001	VALV.MEGALDAP TXT 1/8OD PASO 2MM. EJE PUNZON. ESTOP.GRAFOIL 0103WPG1 124062577	2,00	94,40	188,80	29/04/2019
200 OTR-0000000000000	TRANSPORTE COG: U01700001 COC: U01700167 CUT: U01700117 COP: 18.28.13.30.12 Notas: indicar pedido	1,00	12,00	12,00	29/04/2019

EDICIÓN	TRAMITADO	GERENTE	DIRECCIÓN	DIRECCIÓN COMERCIAL
AVAL GARANTÍA	ANTICIPO	RETENC. GARAN	CERTIFICADO	DOCUM COMPL.
ENTREGA 1	ITEMS	SEPARADO	AUTORIZADO	ALBARAN Nº. FECHA
ENTREGA 2	ITEMS	SEPARADO	AUTORIZADO	ALBARAN Nº. FECHA
ENTREGA 3	ITEMS	SEPARADO	AUTORIZADO	ALBARAN Nº. FECHA



Swagelok Ibérica

B

Válvulas y Conexiones Ibérica slú NIF B87971362
Parque Empresarial Cervelló - c/ Xarelo, 2 08758 Cervelló - Barcelona
Tel: 902 185 185 Fax: 902 100 030
Email: info@iberica.swagelok.com
Centro Autorizado de Ventas y Servicio Swagelok

Página 2 de 2

PRESUPUESTO

Atn: Miguel Angel

Presupuesto Número: 0000319689

Dirección Facturación

ETSIISE-E.T.S.ING.IND.GRUPO DE CONT
Universidad Sevilla - Isla Cartuja
Camino los descubrimientos, s/n
41092 SEVILLA (SEVILLA)

Dirección Entrega

ETSIISE-E.T.S.ING.IND.GRUPO DE CONTROL PRED
Universidad de Sevilla
Camino de los descubrimientos, s/n
41092 SEVILLA (SEVILLA)

Su Referencia:

Condiciones de Pago: TRANSFERENCIA 30 DIAS
Método de Envío: MRW PAGADOS 2
Rep. Ventas: Jose Luis Román
Rep. Servicio Cliente: Javier Miralles

Nº Cliente:

1847.01
Fecha presupuesto : 11/04/2019
Válido hasta : 10/06/2019

DETALLES DEL PRESUPUESTO:

Los plazos de entrega indicados son los existentes en el momento de hacer la oferta y pueden sufrir variaciones. Para necesidades críticas se recomienda verificar plazo en ese instante. El plazo definitivo se confirma mediante nuestro Acuse de Recibo de Pedido tras la tramitación del mismo.

Línea No	Referencia	Plazo	Cantidad	Precio	Sub Total
000010	**FYN44NCT	5 Semanas	1	280.85	280.85
Descr:	SPC-VAL.AGUJA 10.000 PSI 1/2NPT - OBLICUO - GRAFIT				

Pulse el vínculo inferior si desea ver la información de producto en nuestra web:

[Catálogo Swagelok](#)

PORTES:	EUR	0.00
TOTAL (sin IVA):	EUR	280.85

Por favor contacte con nuestro departamento técnico en el 902 185 185 opción 2
o envíenos un e-mail clicando aquí

www.swagelok.com/iberica

FACTURA

Página 1

Num.Factura PROFORMA: 0000319689

Fecha Factura PROFORMA: 11/04/19

Cód.Proveedor: 0

S/Pedido: 2019/0017767

S/Referencia: Miguel Angel

N/Pedido: 0000319689-0

Nº Cliente: 1847.01

Rep.: 19

Dirección Postal:

ETSIISE-E.T.S.ING.IND.GRUPO DE CONTROL PREDICTIVO

Universidad de Sevilla

Camino de los descubrimientos, s/n

SEVILLA

41092 SEVILLA

COG: U01700001 COP.18.28.13.30.12

COC: U01700167

CUT: U01700117

Facturado a: ES-Q4118001I

ETSIISE-E.T.S.ING.IND.GRUPO DE CONTROL PREDICTIVO

Universidad Sevilla - Isla Cartuja

Camino los descubrimientos, s/n

SEVILLA

41092 SEVILLA

Línea	Cantidad		Descripción	Cantidad		Precio % Dto.	Importe
	Pedida	Referencia		Facturada			
0010	1	FYN44NCT	SPC-VAL.AGUJA 10.000 PSI	0		280,85	280,85
SUBTOTAL							280,85

CONDICIONES DE PAGO

TRANSFERENCIA 30 DIAS

Vencimiento: 10/07/19

Datos Bancarios VCI: IBAN: ES98 0075 1338 4306 0003 4888

SWIFT: POPUESMM

Swagelok y sus distribuidores autorizados aseguran al comprador, que los componentes están garantizados por defectos de material y mano de obra, durante TODA LA VIDA DE LOS PRODUCTOS, excepto componentes eléctricos que tienen una garantía de 12 meses. NO APLICA OTRA GARANTIA Y EN NINGÚN CASO EL FABRICANTE O EL VENDEDOR SERÁN RESPONSABLES DE NINGÚN DAÑO DIRECTO O DERIVADO. Para mayor información, contáctenos o visite nuestra página web www.swagelok.es

Domicilio Social: Ctra. De El Escorial 38 bis, 28260 Galapagar (Madrid)

Domicilio Fiscal y Postal: Parque Empresarial Cervelló - c.Xarelo 2, 08758 Cervelló (Barcelona)

Tel.: 902 185 185 - Fax: 902 100 030

info@iberica.swagelok.com - www.swagelok.es

IMPORTES

Base Imponible: 280,85

%IVA: 21 Cuota IVA: 58,98

Total Factura: 339,83

Reg. Merc.de Barcelona T.21822, F.160, H.B27620, Insc. 6ª B87971362

Manufactures Cusell S.L.

FABRICACIÓN DE ARANDELAS Y JUNTAS
EN TODA CLASE DE MATERIALES Y FORMAS
TROQUELAJE - PERFILERÍA EN CAUCHO Y PLÁSTICO
MOLDEADOS EN CAUCHO
MECANIZADOS EN PLÁSTICOS TÉCNICOS

PRESUPUESTO

Condiciones generales de venta en
WWW.ARANDELASYJUNTAS.COM

PRESUPUESTO Nº: 23160

FECHA: 11/3/19

S/ref.: COG: U01700001 · COC: U01700167 · CUT: U01700117 · COP:18.28.13.30.12

Solicitado por: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
Q4118001I
Camino de los descubrimientos, s/n
41092 Sevilla
At. Miguel Ángel Zayas

En respuesta a su petición nos es grato cotizar precio de los artículos solicitados y que a continuación se detallan:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIDAD
1	JUNTA BEMPAGRAF SL 100 X 180 X 0,8 (10/21/140)	52,49 €

- ❖ **FORMA DE PAGO:** Transferencia anticipada.
- ❖ **PLAZO DE ENTREGA:** 10-15 días hábiles aprox.
- ❖ **PORTES:** A su cargo.
- ❖ **VALIDEZ DE LA OFERTA:** 1 mes.
- ❖ **OBSERVACIONES:** No disponible en grosor 0,5.

Quedando a la espera de sus noticias, aprovechamos la ocasión para saludarles muy atentamente.

MANUFACTURES CUSELL S.L.
Carles Cusell



POL. IND. CAN HUMET DE DALT
ANTONI TÀPIES, 7-9 NAVE F
08213 POLINYÀ
BARCELONA · ESPAÑA
TEL. 93 713 17 34
FAX. 93 845 55 09
mcusell@mcusell.com
www.arandelasyjuntas.com





ELEMENTOS DE ACERO Y DERIVADOS, S.L.

C.I.F.: B-41788084



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS
A/a.: SR.MIGUEL ANGEL ZAYAS MARTIN
Fax:

OFERTA N°: 3560

FECHA: 12 de Marzo de 2019

A continuación tenemos el gusto de mandales oferta para los productos que nos ha solicitado

CODIGO	PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO/UD
	MUELLE COMPRESIÓN 3.5x18.5x28.5 - 4 VTS. TOTALES RECTIFICADOS. AC.INOX AISI-302 COG:U01700001 COC:U01700167 CUT:U01700117 COP:18.28.13.30.12	1,00	53,00000

FORMA DE PAGO: TRANSFERENCIA ANTICIPADA

PLAZO DE ENTREGA: 1 SEMANA

FORMA DE ENVIO: N/MEDIOS

PORTES: PAGADOS

En espera de que ésta sea de su interés, aprovechamos la ocasión para enviarles un cordial saludo

Fdo.: Mercedes Rodriguez
Dpto. Administración



ELEMENTOS DE ACERO Y DERIVADOS, S.L.
C.I.F.: B-41788084
Pol. Ind. LAS MORERAS, N.º 8 y 9 - Apdo. Correos, 41 - 06260 MONESTERIO (Badajoz)

Fabricación de muelles para toda clase de maquinaria, usos industriales y agrícolas, sobre medidas, muestras o planos

Pol. Ind. LAS MORERAS, N.º 8 y 9 - Telf.: 924 516 616 - Fax: 924 516 610 - Apdo. Correos, 41 - 06260 MONESTERIO (Badajoz)

muisursl@teleline.es
www.muisur.es

U.SEVILLA-FAC.INGENIEROS -DPTO.INGENIERIA QUIMICA Y AMBIENTAL

CAMINO DE LOS DESCUBRIMIENTOS S/N

41092 SEVILLA

SEVILLA

Tel: 954486045

Att: Miguel Ángel Zayas

e-mail: migzaymar1@alum.us.es

cc: 0000

Miércoles, 20 de septiembre de 2017

APD20KB Pump 80P y APD20KA Pump 80P KNAUER

Pos	Descripción	Precio/ud.	Uds	Importe
1	APD20KA Pump 80P – material acero inoxidable	12.296,00 €	1,00	12.296,00 €
2	APD20KB Pump 80P – material titanio	12.400,00 €	1,00	12.400,00 €
IMPORTE TOTAL				24.696,00 €

Condiciones:

Garantía: 1 año contra todo defecto de fabricación.

Sistema informático no incluido en la garantía.

Garantía del sistema informático a cargo del fabricante y sujeta a sus condiciones.

Precios franco nuestros almacenes.

IVA no incluido, a cargar aparte en factura.

Forma de pago: Transferencia por adelantado.

Plazo de entrega: A confirmar al realizar el pedido.

Plazo de validez de la oferta: 30 días.

Observaciones:

Portes no incluidos, a cargar en factura.

GOMENSORO, S.A.



CIF A-28060283

Fdo. Miguel A. Maestre

U.SEVILLA-FAC.INGENIEROS -DPTO.INGENIERIA QUIMICA Y AMBIENTAL

CAMINO DE LOS DESCUBRIMIENTOS S/N
41092 SEVILLA
SEVILLA
Tel: 954486045
Att: Miguel Ángel Zayas
e-mail: migzaymar1@alum.us.es
cc: 0000

Lunes, 25 de septiembre de 2017

BOMBA MODELO P4.1S DE LA FIRMA KNAUER

Pos	Descripción	Precio/ud.	Uds	Importe
1	APG20EA P 4.1S Pump P 4.1S with 10 ml pump head (stainless steel), pressure sensor	4.563,00 €	2,00	9.126,00 €

SUBTOTAL	9.126,00 €
IVA (21%)	1.916,46 €
IMPORTE TOTAL	11.042,46 €

Condiciones:

Garantía: 1 año contra todo defecto de fabricación.
Precios franco nuestros almacenes.
Forma de pago: Transferencia por adelantado.
Plazo de entrega: A confirmar al realizar el pedido.
Plazo de validez de la oferta: 30 días.

Observaciones:

Portes no incluidos, a cargar en factura.

GOMENSORO, S.A.



CIF A-28060283

Fdo. Miguel A. Maestre

U.SEVILLA-FAC.INGENIEROS -DPTO.INGENIERIA QUIMICA Y AMBIENTAL

CAMINO DE LOS DESCUBRIMIENTOS S/N
41092 SEVILLA
SEVILLA
Tel: 954486045
Att: Miguel Ángel Zayas
e-mail: migzaymar1@alum.us.es
cc: 0000

Lunes, 30 de octubre de 2017

BOMBA P6.1L CON TABLET MOBILE CONTROL DE LA FIRMA KNAUER

Pos	Descripción	Uds
1	APH30FA P 6.1L Pump P 6.1L isocratic with 50 ml pump head (stainless steel)	1,00
2	A9606 TABLET 8" with AZURA MOBILE CONTROL license (Win 8) without data acquisition 8" Display, Windows 8, WIFI,	1,00

IMPORTE	7.765,00 €
DESCUENTO ESPECIAL	-1.048,50 €
SUBTOTAL	6.716,50 €
IVA (21%)	1.410,47 €
IMPORTE TOTAL	8.126,97 €

Condiciones:

Garantía: 1 año contra todo defecto de fabricación.

Sistema informático no incluido en la garantía.

Garantía del sistema informático a cargo del fabricante y sujeta a sus condiciones.

Precios franco nuestros almacenes.

Forma de pago CLIENTE NUEVO: 30% por adelantado
70% a la entrega del pedido.

Plazo de entrega: A confirmar al realizar el pedido.

Plazo de validez de la oferta: 30 de Noviembre 2017

Observaciones:

Portes incluidos.

GOMENSORO, S.A.



CIF A-28060283

Fdo. Miguel A. Maestre

Presupuesto realizado por:
Sandra Estany
sandra.estany@gomensoro.net

página 1/4

www.gomensoro.net
ventas@gomensoro.net
Telf (+34) 915086586

PRESUPUESTO N°: 31825177

ATENCIÓN AL CLIENTE:

Tel.:902 20 30 80

Email: izasa@izasascientific.com

<http://www.izasascientific.com>

FECHA: 18.10.2017

Fax:902 20 30 81

119526
UNIV. SEVILLA
E.T.S. DE INGENIERIA
GRUPO MECANICA DE FLUIDOS
MECANICA DE FLUIDOS
AV.DESCUBRIMIENTOS,S/N,ED.P.AM
41092 SEVILLA
Att. Ms. BEATRIZ FIGUEREDO

S/REFERENCIA:

TERMINOS Y CONDICIONES DE LA OFERTA

RESPONSABLE COMERCIAL: ROQUETTE CASTRO, JESUS MARIA
VALIDEZ DE LA OFERTA: 17.11.2017
GARANTÍA: 12 meses
PLAZO DE ENTREGA: 30 días
FORMA PAGO: Forma Habitual
PORTES Y EMBALAJES: Incluidos
INSTALACIÓN: Incluido
FORMACIÓN: Incluido

OBSERVACIONES:

PRECIO ESPECIAL PARA 2 BOMBAS 8.675 EUROS + IVA



IZASA SCIENTIFIC SLU dispone de una División de Servicio Técnico para todos los aparatos que distribuye.

IZASA SCIENTIFIC, S.L.U. Inscrita en Reg.Mercantil de Barcelona, al Tomo 44437, Folio 6, Hoja B 456012, inscripción 1ª. CIF.B-66350281.
Nº de Inscripción en el Registro REI-RAEE (según R.D. 208/2005): 005299
Nº de Inscripción en el Registro REI-RPA (según R.D. 106/2008): 001189

PRESUPUESTO N°: 31825177

ATENCIÓN AL CLIENTE:
Tel.: 902 20 30 80
Email: izasa@izasascientific.com
<http://www.izasascientific.com>

Fax: 902 20 30 81

FECHA: 18.10.2017

119526
UNIV. SEVILLA
E.T.S. DE INGENIERIA
GRUPO MECANICA DE FLUIDOS
MECANICA DE FLUIDOS
AV. DESCUBRIMIENTOS, S/N, ED. P. AM
41092 SEVILLA
Att. Ms. BEATRIZ FIGUEREDO

S/REFERENCIA:

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL	IVA/IGIC
641228-45000-59	UNIDAD DE BOMBA DE HPLC Marca SHIMADZU Modelo LC 20 AD	2	4.818,53	9.637,06	21%



IZASA SCIENTIFIC SLU dispone de una División de Servicio Técnico para todos los aparatos que distribuye.

BASE IMPONIBLE	9.637,06
21.00% I.V.A.	2.023,78
TOTAL EUR	11.660,84

IZASA SCIENTIFIC, S.L.U. Inscrita en Reg. Mercantil de Barcelona, al Tomo 44437, Folio 6, Hoja B 456012, inscripción 1ª. CIF: B-66350281.
Nº de Inscripción en el Registro REI-RAEE (según R.D. 208/2005): 005299
Nº de Inscripción en el Registro REI-RPA (según R.D. 106/2008): 001189

Suministros Riol S.A.

A08368466

C/ Marina 127

08013 Barcelona

BARCELONA

Telefono - +34 932310811

Fax - +34 932651926

surisa@surisa.es

UNIVERSIDAD DE SEVILLA-ESCUELA SUP. INGENIEROS

CM. DE LOS DESCUBRIMIENTOS S/N,

41092 SEVILLA

SEVILLA

Nº Cliente 3411

Documento	Número	Página	Fecha
Presupuesto	1 190126	1	11/03/2019

N.I.F.	NUMERO DE PEDIDO	FORMA DE PAGO
Q4118001I	RESISTENCIAS	TRANSFERENCIA ANTICIPADA

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UD.	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL
CCI	RESISTENCIA DE CARTUCHO 20x130x2200Wx230v + cable standard (250mm) COG: U01700001 COC: U01700167 CUT: U01700117 COP: 18.28.13.30.12	1,00	46,2500	46,25		46,25

TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.V.A.	R.E.
21,00 10,00 4,00	46,25					46,25	9,71	

OBSERVACIONES:

TOTAL EUROS (€):**55,96**

Nº DE CUENTA - ES98 2038 6700 3168 0000 1876
SWIFT - CAHMESMMXXX

8.3 CÓDIGOS DE MATLAB.

- Código apartado 2.2.2

FUNCIÓN DENSIDAD Y LÍNEA DE CAMBIO DE FASE

```
clc; close all; clear all; format short

Tv = (273:2:800);
X = Tv;
pv = (1:2:300);
Y = pv;

for i = 1:length(Tv)
    for j = 1:length(pv)
        rho = XSteam('rho_pT',pv(j),Tv(i)-273.15);
        k(i,j) = rho;
    end
    clc
    fprintf('Progreso %d/%d\n',i,length(Tv));
end

m = [0 0 0 0]';
Lin_CF = [];
for i = 1:length(Tv)-1
    for j = 1:length(pv)-1
        if vabs((k(i,j)-k(i,j+1))/k(i,j))>=0.50 && pv(j)<=220.64 ...
            && pv(j)> 3
            m = [Tv(i)-273.15;pv(j);k(i,j);k(i,j+1)];
            Lin_CF = [Lin_CF m];
        end
    end
end
Lin_CF = Lin_CF';

figure(534)
xlabel('T [°C]')
ylabel('P [bar]')
hold on
title('Densidad \rho = \rho(p,T)')
[C,h] = contour(X-273.15,Y,k',40);
plot(647.096-273.15,220.64,'rsq')
%clabel(C,h) % activar para ver los valores
colorbar
hold on
plot(Lin_CF(:,1),Lin_CF(:,2),'--','LineWidth',1.5)

figure(ceil(rand*100))
plot(647.096-273.15,220.64,'rsq')
hold on
% plot(Lin_CF(:,1),Lin_CF(:,2),'--','LineWidth',1.5)
hold on
z = (Lin_CF(:,1)-263)./65;
P_CF = 0.539.*z.^4+4.02.*z.^3+20.2.*z.^2+51.1.*z+48.1;
% plot(Lin_CF(:,1),P_CF,'-y','LineWidth',1.5)
% LINEA DE CAMBIO DE FASE. LEY 4º GRADO POLINOMICA
% [T] = °C y [P] = bar
```

```

% z = (T-263)./65
% P = 0.539.*z.^4+4.02.*z.^3+20.2.*z.^2+51.1.*z+48.1;

plotyy(Lin_CF(:,1),[Lin_CF(:,2) P_CF],Lin_CF(:,1),...
    [Lin_CF(:,3) Lin_CF(:,4)])
% plotyy(Lin_CF(:,1),P_CF,Lin_CF(:,1),Lin_CF(:,3))
xlabel('T [°C]')
ylabel('P [bar]')
title('Línea de cambio de fase')
legend('Punto crítico','Real','Ajuste polinomio','Densidad vapor',...
    'Densidad líquido','Location','Best')
grid on

T_Celsius      = Lin_CF(:,1);
p_bar          = Lin_CF(:,2);
rho_gas        = Lin_CF(:,3);
rho_liq        = Lin_CF(:,4);
TABLA_RESULTADOS = table(T_Celsius,p_bar,rho_gas,rho_liq)
format long

% desactivar para guardar en un excel
% writetable(TABLA_RESULTADOS,'linea_cambio_fase.xls','Sheet',1)

```

VOLUMENES DE LÍQUIDO Y DENSIDADES

```
% Factor_camara = 1.8;
rho_amb      = 1000;
T_in         = 200; % [C]
V_liq_0      = 0.9*1e-3; % [m3]
% V_cam      = Factor_camara*V_liq_0; % [%]
V_cam        = 1.5e-3;
i            = 1;

for T_in = 160:20:340
    rho_gas_vec(i)      = interp1(T_Celsius,rho_gas,T_in);
    rho_liq_vec(i)      = interp1(T_Celsius,rho_liq,T_in);
    V_liq_t              = (rho_amb- rho_gas_vec(i)*V_cam/V_liq_0)/...
        ((rho_liq_vec(i)- rho_gas_vec(i))/V_liq_0);
    if V_liq_t >= V_cam
        V_liq_t = NaN;
    end
    V_liq_t_Litros(i)    = V_liq_t*1e3;
    V_gas_t_Litros(i)    = V_cam*1e3-V_liq_t_Litros(i);
    V_total(i)          = V_gas_t_Litros(i)+V_liq_t_Litros(i);
    Tvec(i)              = T_in;

    i = i+1;
end
% [V_liq_t_Litros' V_gas_t_Litros',V_total']

figure(ceil(rand*100))
plot(Tvec,[V_liq_t_Litros' V_gas_t_Litros'])
xlabel('T [°C]')
ylabel('Vol [L]')
hold on
plot(Tvec,0.*ones(length(Tvec)),'--r')
legend('Volumen de líquido','Volumen de gas',...
    'Límites de cámara','Location','Best')
plot(Tvec,V_cam.*1e3.*ones(length(Tvec)),'--r')
title(['V_{camara} = ' num2str(V_cam*1e3)...
    '[L] y V_{liq_0}= ' num2str(V_liq_0*1e3) '[L]'])

figure(24376387)
plot(Tvec,[rho_liq_vec' rho_gas_vec'])
xlabel('T [°C]')
ylabel('Vol [L]')
legend('Densidad de líquido','Densidad de gas',...
    'Location', 'Best')
title(['V_{camara} = ' num2str(V_cam*1e3) ...
    '[L] y V_{liq_0}= ' num2str(V_liq_0*1e3) '[L]'])
```

- Código apartado 3.1.2

```

clear
close all
clc

FS = 2;
pi = 22.064*1e6*FS; % [Pa]
po = 101325; % [Pa]
% tension radial
% eta = ri/r0
% psi = r/r0 entre psi = eta hasta psi = 1
eta = 0.95;
psi_vec = linspace(eta,1,100);
for i = 1:100
    psi = psi_vec(i);
    sigma_r(i) = (eta^2*pi-po)/(1-eta^2) - (pi-po)*eta^2/(1-eta^2)/psi^2;
    sigma_theta(i) = (eta^2*pi-po)/(1-eta^2) + (pi-po)*eta^2/(1-eta^2)/psi^2;
    sigma_z(i) = -(po-pi*(eta)^2)/(1-(eta)^2);
    s1 = sigma_theta(i);
    s2 = sigma_r(i);
    s3 = sigma_z(i);

    von_mises(i) = sqrt(1/2*((s1-s2)^2+(s2-s3)^2+(s3-s1)^2));
end

figure(ceil(1000*rand))
plot(psi_vec,[sigma_r',sigma_theta', sigma_z']./1e6)
hold on
plot(psi_vec,von_mises./1e6,'-*')

xlabel('\psi = r/r_o')
ylabel('\sigma_r & \sigma_theta [MPa]')

```

```

clear
close all
clc

FS = 2;
pi = 22.064*1e6*FS; % [Pa]
po = 101325; % [Pa]
eta_vec = linspace(0.7,0.98,100);

for i = 1:100
    eta = eta_vec(i);
    psi = eta;
    sigma_r(i) = (eta^2*pi-po)/(1-eta^2) - (pi-po)*eta^2/(1-eta^2)/psi^2;
    sigma_theta(i) = (eta^2*pi-po)/(1-eta^2) + (pi-po)*eta^2/(1-eta^2)/psi^2;
    sigma_z(i) = -(po-pi*(eta)^2)/(1-(eta)^2);
    s1 = sigma_theta(i);
    s2 = sigma_r(i);
    s3 = sigma_z(i);

    von_mises(i) = sqrt(1/2*((s1-s2)^2+(s2-s3)^2+(s3-s1)^2));
    syield(i) = 900e6;
end

figure(ceil(1000*rand))
plot(eta_vec,[sigma_r',sigma_theta', sigma_z']./1e6)
hold on
plot(eta_vec,von_mises./1e6,'-*')
plot(eta_vec,syield./1e6,'--black')

legend('\sigma_r', '\sigma_theta', '\sigma_z', 'Von Mises', 'Límite Elástico', 'Location', 'Best')

xlabel('r_i/r_o')
ylabel('\sigma [MPa]')

```

8.4. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS.



PRESUPUESTO
OP-43676

BOMBA AZURA P4.1S



Pump type	Ultra-compact high pressure pump
Delivery system	Dual piston pump with one working piston, one auxiliary
Pump head	10 ml/min
Pump head materials	stainless steel
Maximum delivery pressure	40 MPa (400 bar, 5800 psi)
Maximum flow rate	0.001 - 10 ml/min 0.1 - 8.0 ml/min (recommended) 0.1 - 4.0 ml/min (continuous operation)
Flow rate increment	0.001 ml/min
Flow rate accuracy	± 1%, measured at 5 - 50% of flow range using ethanol/water 10:90
Flow rate precision	≤ 0.5 % RSD, measured at 1 ml/min using ethanol/water 10:90
System protection	P _{min} and P _{max} are programmable
Wetted materials	stainless steel, graphite fiber reinforced PTFE, FKM, PEEK, sapphire, aluminum oxide (Al ₂ O ₃)
Communication	
Control	LAN; RS-232; analog and event controlled
Analog inputs	0-10 V
Analog control input	flow rate
Technical parameters	
Ambient conditions	temperature range: 10-40 °C; 50-104 °F air humidity: below 90 % humidity (non condensing)
General	
Power supply	voltage range: 100 - 240 V, 50 - 60 Hz
Dimensions	113 x 135 x 225 mm (W x H x D)

Presupuesto realizado por:
Sandra Estany
sandra.estany@gomensoro.net

página 2/2

www.gomensoro.net
ventas@gomensoro.net
Telf (+34) 915086586

Protección del sistema	Rampa de inicio, P_{\min} y P_{\max} programables
Materiales en contacto con los eluyentes	Acero inoxidable, fibra de grafito PTFE, FKM, PEEK, zafiro, óxido de circonio (ZrO_2)
Comunicación	
Control	LAN; analógico y control de eventos
Entradas analógicas	0-10 V
Entradas control analógico	flujo
Parámetros técnicos	
Condiciones ambientales	Rango de temperatura: 4-40 °C; 50-104 °F Humedad ambiental: inferior a 90 %
Sensor de fugas	sí
General	
Alimentación	voltaje: 100 - 240 V, 50 - 60 Hz
Dimensiones	361 x 208.2 x 523 mm (W x H x D)
Peso	11.5 kg

Bomba de gradiente isocrático AZURA P 6.1L

- Doble pistón en serie y amortiguador para minimizar los pulsos de presión.
- Rango de flujo seleccionable entre 0,01 y 50 mL/min en incrementos de 0,01 mL/min.
- Presión máxima de trabajo de 300 bares (30 MPa)



AZURA P 6.1L

Características técnicas	
Bomba	Bomba HPLC de gradiente isocrático
Características de bombeo	
Cabezal de bomba	50 ml/min
Amortiguador de pulsos	Compensación activa de pulsos y presión
Materiales	Acero inoxidable
Presión máxima	30 MPa (300 bar) hasta 10 mL/min, 20 MPa (200 bar) hasta 50 mL/min
Rango de flujo	0.01 - 50 ml/min
Incrementos de flujo	0.01 ml/min
Exactitud	± 1%, medido a 5 - 80% del rango de flujo empleando etanol
Precisión	< 0.1 % RSD basado en tiempos de retención a temperatura ambiente constante
Lavado de pistones	Estándar

Presupuesto realizado por:
Sandra Estany
sandra.estany@gomensoro.net

página 2/4

www.gomensoro.net
ventas@gomensoro.net
Telf (+34) 915086586

Protección del sistema	Rampa de inicio, P_{\min} y P_{\max} programables
Materiales en contacto con los eluyentes	Acero inoxidable, fibra de grafito PTFE, FKM, PEEK, zafiro, óxido de circonio (ZrO_2)
Comunicación	
Control	LAN; analógico y control de eventos
Entradas analógicas	0-10 V
Entradas control analógico	flujo
Parámetros técnicos	
Condiciones ambientales	Rango de temperatura: 4-40 °C; 50-104 °F Humedad ambiental: inferior a 90 %
Sensor de fugas	sí
General	
Alimentación	voltaje: 100 - 240 V, 50 - 60 Hz
Dimensiones	361 x 208.2 x 523 mm (W x H x D)
Peso	11.5 kg

CÁLCULO DEL MUELLE DE DISCO DE PLATILLO SEGÚN LA NORMA DIN 2092 / 2093

FECHA: 16/03/2019

CLIENTE:



SURISA
Calle Marina 127-131 - BAJOS - BARCELONA (08013) - ES
Tel. : +34 93 231 0811 - Móvil: +34 620 228 309
<https://www.muellerdeplatillo.com>

MATERIAL

Número	Especificación	Nombre	Temperatura de trabajo [°C]	Módulo de Young [N/mm²]	Ratio de Poisson	Observaciones
1.4568	X7CrNiAl17-7	-	340,00	169.300,00	0,3	SIN OBSERVACIONES

DIMENSIONES DEL MUELLE

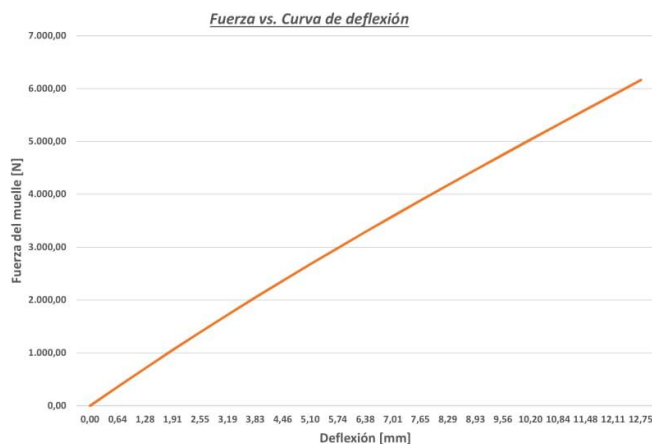
Diámetro Exterior (De) [mm]	Diámetro interior (Di) [mm]	Espesor (t) [mm]	Espesor reducido (t') [mm]	Altura sin carga (lo) [mm]
34	16,3	2	0	2,85

PARÁMETROS DE LA CURVA

h_u/t	$K4 \cdot h_u/t'$	E1
0,425		

DATOS STACK

Serie (i)	Paralelo (n)	Altura total sin carga (Lo) [mm]
15	1	42,75



s/h ₀ [ADIMENSIONAL]	Deflexión [mm]	Altura [mm]	Fuerza [N]
0,00	0,00	42,75	0,00
0,10	1,28	41,48	711,42
0,20	2,55	40,20	1.392,79
0,30	3,83	38,93	2.047,45
0,40	5,10	37,65	2.678,73
0,50	6,38	36,38	3.289,98
0,60	7,65	35,10	3.884,52
0,70	8,93	33,83	4.465,71
0,80	10,20	32,55	5.036,89
0,90	11,48	31,28	5.601,38
1,00	12,75	30,00	6.162,53

Test de carga $F(0,75 \cdot h_u)$ según DIN 2093 (Para un único muelle de platillo)

s/h ₀	Itest [mm]	s [mm]	F test [N]
0,75	2,21	0,64	4.752,34

CÁLCULOS PARA APLICACIONES DINÁMICAS

Estrés Elástico

Estrés en	ou	0,01 [N/mm²]	>> Edge	2,00
Puntos de carga	oo	1.163,28 [N/mm²]	max. Loaded Edge:	

Rango de trabajo

Punto de carga 1	s1	0,00 [mm]	F1	0,06 [N]
Punto de carga 2	s2	9,00 [mm]	F2	4.499,56 [N]

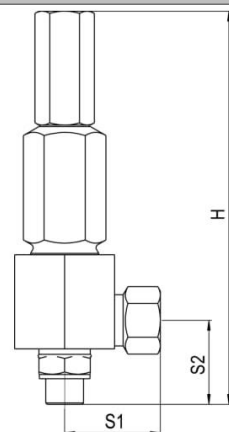
Vida útil

Números de ciclos entre el punto de carga 1 y el punto de carga 2		7000
---	--	------

Hoja de Cálculo de Válvula de Seguridad



Ref. Proyecto									
1	Cliente	ETSI			5	Cliente Final	ETSI		
2	Ubicación	Spain			6	Consulta / PO No.	MEC2019-083		Rev 0
3	Proyecto	Fluid Mechanical Project			7	Cálculo No.	Rev		
4	Planta	Laboratory of University			8	IMI B&R Ref. No.	Rev		
Identificación y Código de Diseño									
9	Tag No.				11	Cantidad	1		
10	Item No.	10	Caso No.	Vacío	12	Norma Cálculo	ISO 4126-7		
Propiedades Fluido									
13	Fluido	Superheated steam			16	Exponente isentrópico	k	NaN	
14	Estado del Fluido	Vapor Sobrecalentado			17				
15	Temperatura Disparo	T	375,0	°C	18				
Condiciones Diseño									
19	Pres. Disparo	p	300,00	bar g	23	Presión Operación	p _{op}	-	bar g
20	Presión Atmosférica	P _{atm}	1,01	bar a	24	Presión Diseño (MAWP)	p _{des}	300,00	bar g
21	Sobrepresión		10,0	%	25	Temp. Diseño Mín / Máx	T _{des}	n.a./+375,0	°C
22	Presión Descarga	p ₀	331,01	bar a	26				
Contrapresión									
27	Contrapr. Constante	p _{bsc}	-	bar g	29	Contrapr. Built-up	p _{bbu}	-	bar g
28	Contrapr. Variable	p _{bsv}	-	bar g	30	Contrapresión Total (abs)	p _b	1,01	bar a
Cálculos y Dimensionado									
31	Ratio Presión	p _b / p ₀	0,003		36	Caudal Certificado	Q _{mc}	13687,7	kg/h
32	Función Exp. Isoentrópico	C	0,735		37	Caudal Real	Q _{me}	15208,5	kg/h
33					38				
34	Area Requerida	-		-	39				
35	Area Seleccionada	A _{sel}	38,48	mm ²	40				
Datos Válv. Selec. y Modelo									
41	Modelo	Si 0329 G 34.19.25.28.60			49	Tipo	Convencional Bonete Cerrado		
42	Conexión Entrada	DN 20	G3/4	Male	50	Cod. Material	34		
43	Norma Conexión Entrada	DIN 3852-2			51	G	Cap. Estanco		
44	Conexión Salida	DN 25	G1	Female	52	.19	Diseño para alta presión de tara		
45	Norma Conexión Salida	DIN 3852-2			53	.25	Cuerpo monobloque		
46	Dia. Asiento/Área/Orif.	7,0 mm	38,48 mm ²		54	.28	Desengrasado		
47	Coef. Certif. Descarga	K _{dr}	0,790	D/G	55	.60	Asiento estrellado		
48	Marcado CE	Z-IS-DDB-12-05-392985-05			56				
Material y Dimensiones									
57	Cuerpo	1.4571			62	S1	67,0	mm	
58	Bonete	1.4571			63	S2	60,0	mm	
59	Asiento	1.4571 (Endurecido)			64	H	320,0	mm	
60	Disco	1.4980			65	x	-	mm	
61	Fuelle	-			66	m	7,0	kg	
Información Adicional									
67	Fuerza Reacción según ISO 4126-9	F _a	NaN	N	71	Marcado CE	Si		
68	Nivel Ruido a 1 m según API 521	L	-	dB	72	NACE	No		
69	Tarado en Frío (CDTP)		306,00	bar g	73				
70	Referencia Catálogo	Si 032			74				
75	<p>Notas:</p> <p>PSV seleccionada en base a la Pset=300 barg por ser unas condiciones más críticas que por T°=350°C</p>								
IMI Bopp & Reuther - Si-Tech 4.0.1/32 Archivo proyecto: MEC2019-083 R0.stp									





SUMINISTROS RIOL S.A. [www.surisa.es]
C/ Marina 127-131 bjs | 08013 Barcelona, ESPAÑA
TEL. +34 93 231 08 11 | FAX +34 93 265 19 26 | SURISA@SURISA.ES
WWW.RESISTENCIAS.ES

MODELOS RESISTENCIA DE ALTA CARGA

Modelos en milímetros (mm)

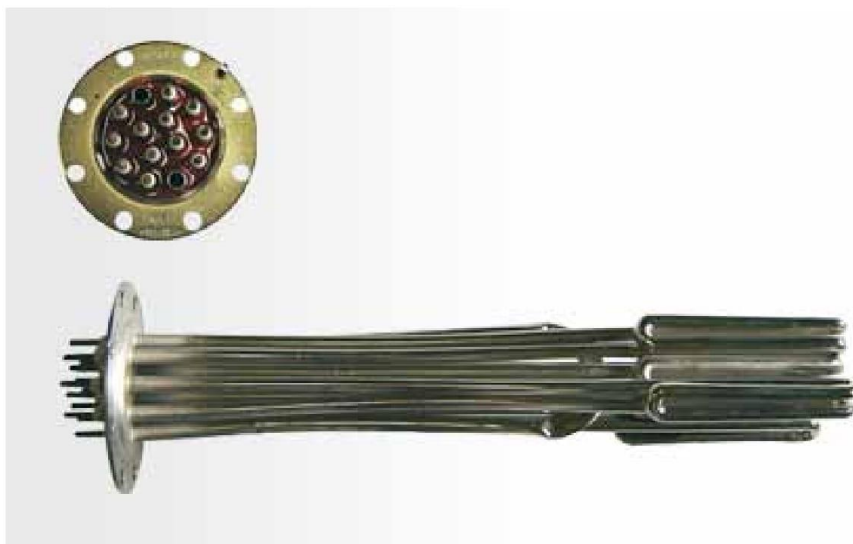
MODELO STANDARD													
DIAMETRO Ø MM.	LONGITUD L MM.	WATIOS A 230V											
6.50 -0,02 -0,06	30	160	200	300									
	40	100	125	160	175	200							
	50	100	125	150	160	200	250						
	60	125	160	180	200	250	315						
	80	125	160	180	200	250	280	300	315	350			
	100	100	160	200	220	250	315	350	400				
	130	220	300	350	400								
	160	250	350	400									
	180	250	350	400									
	200	350	400	500									
	250	250	350	400	500								
	300	100	140	160	200	250							
8 -0,02 -0,06	50	125	160	200	250	315							
	60	100	125	140	160	200	220	250	280	315	350		
	80	160	180	200	250	280	315	350	400				
	100	180	200	250	280	315	400						
	130	250	315	400									
	160	200	315	400									
	180	250	300	400	500								
	200	300	400	500									
	250	300	400	500									
	300	100	125	160	175	200	250	315	400				
	50	100	125	160	175	200	250	300	315	400	500		
	60	125	160	180	200	250	300	315	350	400	450	500	
10 -0,02 -0,06	80	100	150	160	200	220	250	300	315	400	500	630	
	100	125	150	220	250	315	350	400	500	560	630	700	850
	130	250	300	315	350	400	500	630	750	800	1000		
	160	160	315	400	500	600	630	750	800				
	180	300	500	600	800								
	200	250	300	400	500	600	630	1000					
	250	200	400	630	800	1000	1600						

MODELO STANDARD									
DIAMETRO Ø MM.	LONGITUD L MM.	WATIOS A 230V							
12.50 -0,02 -0,06	40	100	160	200	250	315	400		
	50	100	150	160	200	250	315	400	500
	60	125	160	200	250	315	400	500	
	80	150	200	250	315	400	500	630	800
	100	250	315	400	500	630	800	1000	
	130	350	400	500	630	800	1000	1250	
	160	400	500	630	800	1000	1250		
	180	500	670	800	1000	1500			
	200	500	630	800	900	1000	1250	1500	
	250	630	800	900	1000	1500			
	300	600	1000	1250	1500	2000			
	16 -0,02 -0,06	40	100	160	200	250	315	400	500
50		160	200	250	315	400	500	630	
60		160	200	250	315	400	500	630	
80		250	280	315	400	500	630	800	850 1000
100		350	400	500	630	800	1000	1250	
130		400	500	630	700	800	1000	1100	1400 1800
160		500	630	800	900	1000	1250	1500	1800
180		600	850	1000	1250	1500	1800		
200		500	800	1000	1250	2000			
250		800	1000	1250	1600	2000			
300		1000	1250	1500	1800	2000			
20 -0,02 -0,06		50	200	250	315	400			
	60	200	315	400	500	630	800		
	80	315	350	400	500	800	1000	1250	
	100	400	450	500	630	800	1000	1250	1400 1600 1800
	130	500	630	900	1000	1250	1400	1800	2200
	160	800	1000	1100	1250	1800	2200		
	180	1000	1250	1600	1800				
	200	800	1000	1250	1600	2000	2500		
	250	1000	1250	1600	2000	2500			
	300	1000	1250	1600	2000	2500			
	350	1000	1250	1600	2000	2500			

Modelos en pulgadas (")

MODELO STANDARD		
DIAMETRO Ø pulgadas" (mm)	LONGITUD L pulgadas" (mm)	WATIOS A 230V
1/4" +0,02 (6.30) -0,02	1 1/4" (31)	160 200 300
	1 1/2" (38)	100 125 160 175 200
	2" (50)	100 125 150 160 200 250
	2 1/2" (63)	125 160 180 200 250 315
	3" (76)	125 160 180 200 250 280 300 315 350
	3 1/4" (82)	125 160 180 200 250 280 300 350
	4" (101)	100 160 200 220 250 315 350 400
	5" (127)	220 300 350 400
	5 1/4" (133)	220 300 350 400
	6" (152)	220 350 400
	6 1/2" (165)	250 350 400
	7" (177)	250 350 400
5/16" +0,02 (7.90) -0,02	1 1/2" (38)	100 140 160 200 250
	2" (50)	125 160 200 250 315
	2 1/2" (63)	100 125 140 160 180 200 220 250 280 315 350
	3" (76)	160 180 200 250 280 315 350 400
	3 1/4" (82)	160 200 315 400
	4" (101)	180 200 220 250 280 315 400
	5" (127)	250 315 400
	5 1/4" (133)	250 315 400
	6" (152)	200 315 400
	6 1/2" (165)	250 315 400
	7" (177)	250 315 400
3/8" +0,02 (9.46) -0,02	1 1/2" (38)	100 125 160 175 200 250 315 400
	2" (50)	100 125 160 175 200 250 300 315 400 500
	2 1/2" (63)	125 160 180 200 250 315 350 400 450 500
	3" (76)	100 150 160 200 220 250 300 315 400 500 600 630
	3 1/4" (82)	160 250 300 400 500 630
	4" (101)	125 150 220 250 315 350 400 500 560 630 700 850
	5" (127)	250 300 315 350 400 500 630 750 800 1000
	5 1/4" (133)	315 400 500 600 800
	6 1/4" (152)	160 315 400 500 600 630 750 800
	6 1/2" (165)	400 500 630
	7" (177)	400 500 600 700 800
	8" (203)	250 300 400 500 600 630 1000
	10" (254)	200 400 630 800 1000 1600

MODELO STANDARD		
DIAMETRO Ø pulgadas" (mm)	LONGITUD L pulgadas" (mm)	WATIOS A 230V
1/2" +0,02 (12.61) -0,02	1 1/2" (38)	100 160 200 250 315 400
	2" (50)	100 150 160 200 250 315 400 500
	2 1/2" (63)	125 160 200 250 315 400 500
	3" (76)	150 200 250 315 400 500 630 800
	3 1/4" (82)	160 200 315 500 630 800
	4" (101)	250 315 400 500 630 800 1000
	5" (127)	350 400 500 630 800 1000 1250
	5 1/4" (133)	300 400 630 1000 1250
	6" (152)	400 500 630 800 1000 1250
	6 1/2" (165)	500 800 1250
	7" (177)	500 670 800 1000 1250
	8" (203)	500 630 800 900 1000 1500
5/8" +0,02 (15.81) -0,02	10" (254)	630 800 900 1000 1250 1500
	12" (304)	600 1000 1250 1500 2000
	1 1/2" (38)	100 160 200 250 315 400 500
	2" (50)	160 200 250 315 400 500 630
	2 1/2" (63)	160 200 250 315 400 500 630
	3" (76)	250 280 315 400 500 630 800 850 1000
	3 1/2" (88)	350 400 500 630 800
	3 1/4" (82)	280 300 400 630 800 1000
	4" (101)	350 400 500 630 800 1000 1250
	5" (127)	400 500 630 700 800 1000 1100 1400 1800
	5 1/4" (133)	500 700 1100 1400 1800
	6" (152)	500 630 800 900 1000 1250 1600 1800
3/4" +0,02 (19) -0,02	6 1/2" (165)	630 900 1600 1800
	7" (177)	600 850 1000 1250 1500 1800
	8" (203)	500 800 1000 1250 2000
	10" (254)	800 1000 1250 1600 2000
	12" (304)	1000 1250 1500 1800 2000
	2" (50)	200 250 315 400
	2 1/2" (63)	200 315 400 500 630 800
	3" (76)	315 350 400 500 800 1000 1250
	3 1/4" (82)	315 350 400 500
	4" (101)	400 450 500 800 1000 1250 1400 1600 1800
	5" (127)	500 630 900 1000 1250 1400 1800 2200
	5 1/4" (133)	500 630 900 1000
	6" (152)	800 1000 1100 1250 1800 2200
	6 1/2" (165)	800 1000 1100 1250
	7" (177)	800 1000 1250
	8" (203)	800 1000 1250
	10" (254)	1000 1250 1600 2000 2500
	12" (304)	1250 1600 2200 2500



2.1.3 RESISTENCIAS INMERSION PARA CALDERA					
COD	LONG	POTENCIA	BRIDA	TUBO	CARACTERISTICAS
2.1.3.01	200	4500	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.02	250	6000	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.03	305	7500	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.04	320	9000	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.05	360	10500	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.06	375	12000	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.07	375	13500	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.08	375	15000	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.09	375	18000	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.10	375	21000	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS
2.1.3.11	375	24000	Ø 110mm.	COBRE NI	BRIDA CON 8 TALADROS



MATERIAL EN GRAFITO ISOSTÁTICO

VALORES FÍSICOS

CALIDAD		CB1
<input type="checkbox"/> Densidad aparente	g/cm ³	1,85
<input type="checkbox"/> Dureza Shore		58
<input type="checkbox"/> Porosidad	%	13
<input type="checkbox"/> Resistividad Eléctrica	μΩm	11
<input type="checkbox"/> Resistencia a Compresión	MPa	98
<input type="checkbox"/> Resistencia a Flexión	MPa	49
<input type="checkbox"/> Módulo de Young	GPpa	10,8
<input type="checkbox"/> Conductividad Térmica	W/mk	116
<input type="checkbox"/> Coeficiente de Dilatación	10 ⁻⁶ /°C	5,5

Estas medidas deben tomarse como valores medios



Disc Spring 34,00 x 16,30 x 2,00 () $l_0 = 2,85$

Material

Number 1.4568
Specification X7CrNiAl17-7
Name -
Temperature of Use 20 °C
Youngs Modulus 200.000 N/mm²
Poisson Ratio 0,3

Spring Dimensions

Outer Diameter 34,00 mm De
Inner Diameter 16,30 mm Di
Thickness 2,00 mm t
reduced Thickness mm t'
unloaded Height 2,85 mm lo

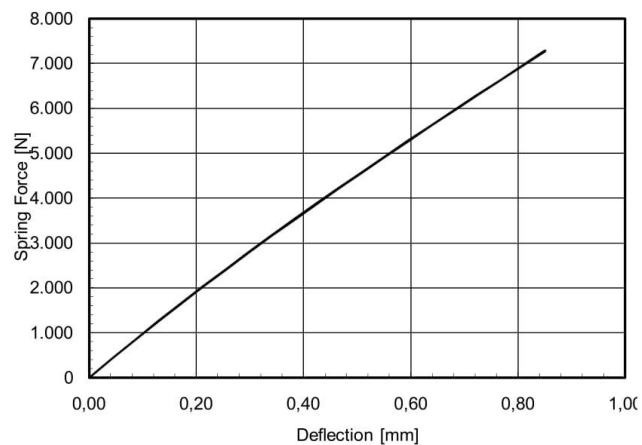
Curve Parameter

h_0 / t 0,43
 $K_4 * h_0' / t'$
 E_1

Single Disk Spring

Seriell i Number of Springs
Parallel n in the Spring-
Total Height (unloaded) mm Lo Stack

Force vs. Deflection Curve



Test Load $F(0,75 \cdot h_0)$ acc. to DIN 2093

(single disk spring)

s/h_0	l_{test} [mm]	s [mm]	F_{test} [N]
0,75	2,21	0,64	5.614,1

For tolerances of dimensions and forces please contact us under the given numbers (see above).

Calculations for Dynamic Applications:

Elastic Stresses

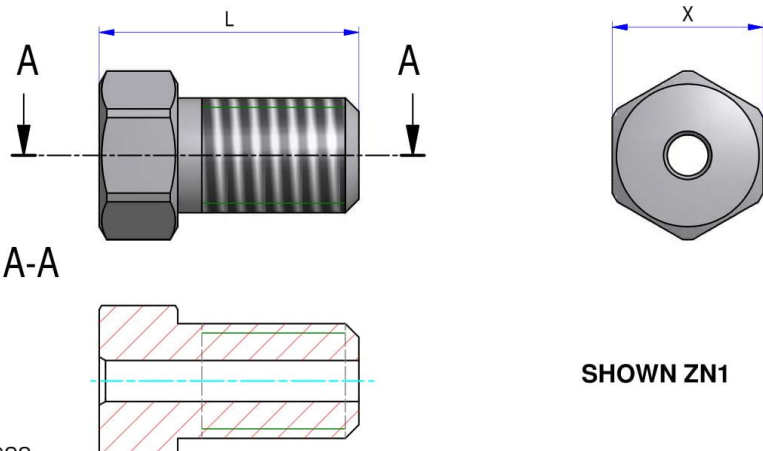

Stresses at	σ_U	N/mm ²
Load Points	σ_O	N/mm ²

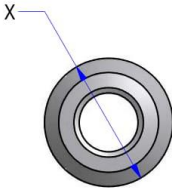
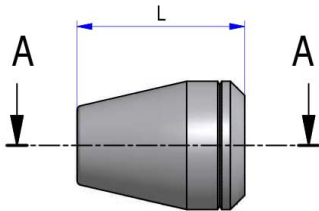
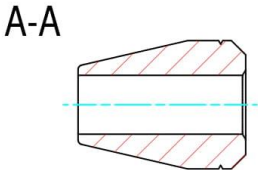


Working Range

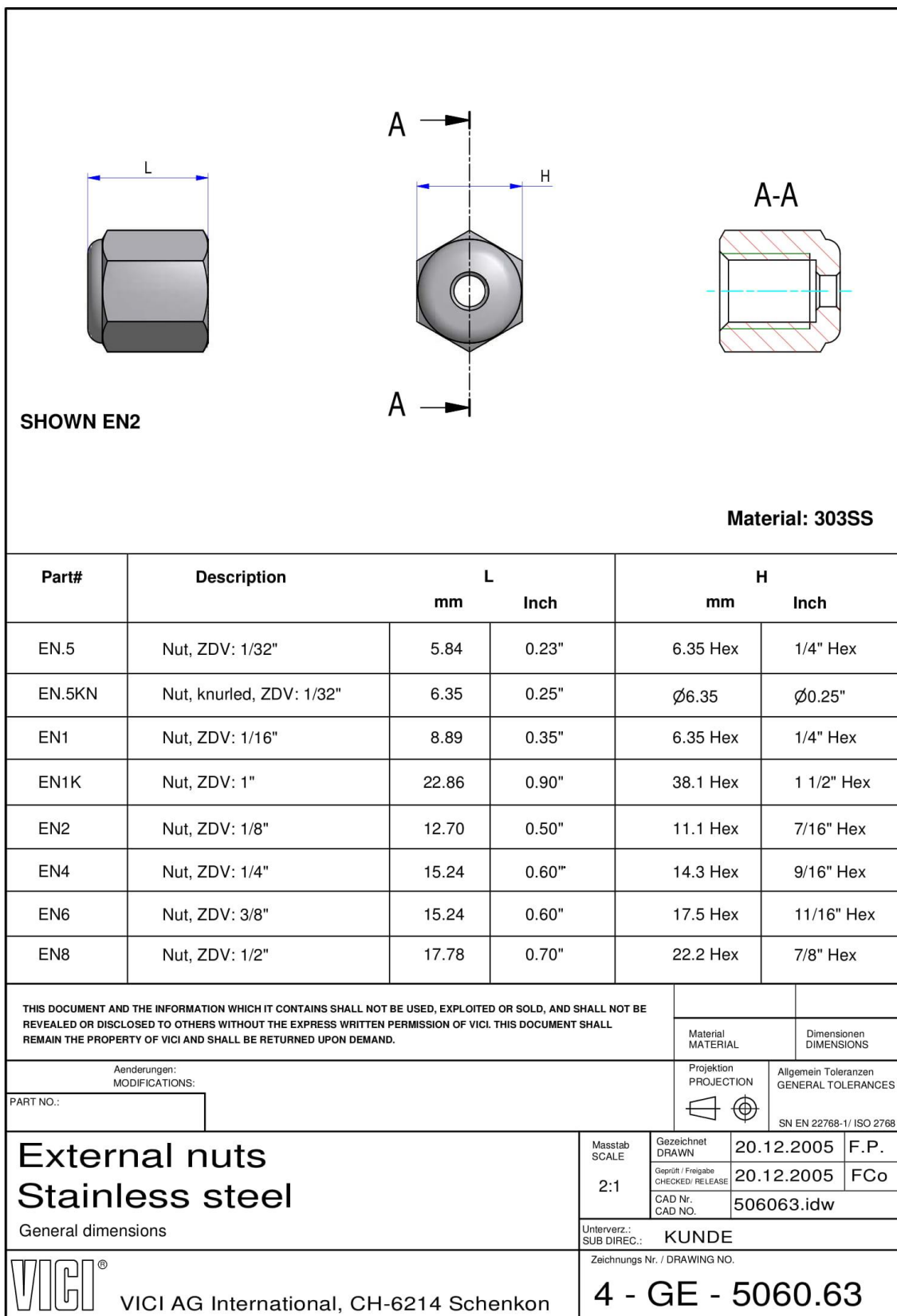
Load Point 1	s_1	mm	F_1	N
Load Point 2	s_2	mm	F_2	N

Fatigue Life

Number of Cycles within Working Range between Load Point 1 and Load Point 2

		SHOWN ZN1						
Material = 303SS * = S6, Material 316SS								
Part#	Description	L		X				
		mm	Inch					
ZN.5	Nut, ZDV: 1/32", standard	7.62	0.300"	3/16" Hex				
LZN.5	Nut, ZDV: 1/32", long	11.43	0.450"	3/16" Hex				
ZN1*	Nut, ZDV: 1/16", standard	10.92	0.430"	1/4" Hex				
MZN1*	Nut, ZDV: 1/16", long	12.70	0.500"	1/4" Hex				
IZN1*	Nut, ZDV: 1/16", long	15.88	0.625"	1/4" Hex				
LZN1*	Nut, ZDV: 1/16", long	19.05	0.750"	1/4" Hex				
XLZN1*	Nut, ZDV: 1/16", extra long	25.40	1.000"	1/4" Hex				
ZN2*	Nut, ZDV: 1/8", standard	14.48	0.570"	3/8" Hex				
LZN2*	Nut, ZDV: 1/8", long	20.96	0.825"	3/8" Hex				
XLZN2*	Nut, ZDV: 1/8", extra long	27.31	1.075"	3/8" Hex				
ZN4*	Nut, ZDV: 1/4", standard	17.78	0.700"	1/2" Hex				
ZN6	Nut, ZDV: 3/8", standard	20.32	0.800"	11/16" Hex				
ZN8	Nut, ZDV: 1/2", standard	20.32	0.800"	13/16" Hex				
THIS DOCUMENT AND THE INFORMATION WHICH IT CONTAINS SHALL NOT BE USED, EXPLOITED OR SOLD, AND SHALL NOT BE REVEALED OR DISCLOSED TO OTHERS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF VICI. THIS DOCUMENT SHALL REMAIN THE PROPERTY OF VICI AND SHALL BE RETURNED UPON DEMAND.								
				Material MATERIAL	Dimensionen DIMENSIONS			
Änderungen: a) 31.08.06 FP #503, add. MZN1 and IZN1 MODIFICATIONS:				Projektion PROJECTION 	Allgemein Toleranzen GENERAL TOLERANCES SN EN 22768-1/ ISO 2768			
PART NO.:								
Internal nuts Stainless steel General dimensions				Masstab SCALE	Gezeichnet DRAWN	14.12.2005	F.P.	
				4:1	Geprüft / Freigabe CHECKED/ RELEASE		31.08.2006	FCo
					CAD Nr. CAD NO.		506056.idw	
Unterverz.: SUB DIREC.:				KUNDE				
VICI®				Zeichnungs Nr. / DRAWING NO.				
VICI AG International, CH-6214 Schenk				4 - GE - 5060.56 a				

<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>SHOWN ZF1</div></div>					
* different materials					
Part#	Description	L		X	
		mm	Inch	mm	Inch
ZF.5*	Ferrule, ZDV: 1/32", Metal	3.81	0.150"	Ø2.54	Ø0.100"
ZF.5*	Ferrule, ZDV: 1/32", Polymeric	3.81	0.150"	Ø2.54	Ø0.100"
ZF1*	Ferrule, ZDV: 1/16", Metal	4.75	0.187"	Ø3.68	Ø0.145"
ZF1HC	Ferrule, ZDV: 1/16", Metal	4.75	0.187"	Ø3.16	Ø0.1245"
ZF1*	Ferrule, ZDV: 1/16", Polymeric	4.75	0.187"	Ø3.68	Ø0.145"
ZF2*	Ferrule, ZDV: 1/8", Metal	6.35	0.250"	Ø6.22	Ø0.245"
ZF2*	Ferrule, ZDV: 1/8", Polymeric	6.35	0.250"	Ø6.22	Ø0.245"
ZF4*	Ferrule, ZDV: 1/4", Metal	7.37	0.290"	Ø9.27	Ø0.365"
ZF4*	Ferrule, ZDV: 1/4", Polymeric	7.37	0.290"	Ø9.27	Ø0.365"
ZF6*	Ferrule, ZDV: 3/8", Metal	7.37	0.290"	Ø12.45	Ø0.490"
ZF6*	Ferrule, ZDV: 3/8", Polymeric	7.37	0.290"	Ø12.45	Ø0.490"
ZF8*	Ferrule, ZDV: 1/2", Metal	7.37	0.290"	Ø15.85	Ø0.624"
ZF8*	Ferrule, ZDV: 1/2", Polymeric	7.37	0.290"	Ø15.85	Ø0.624"
THIS DOCUMENT AND THE INFORMATION WHICH IT CONTAINS SHALL NOT BE USED, EXPLOITED OR SOLD, AND SHALL NOT BE REVEALED OR DISCLOSED TO OTHERS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF VICI. THIS DOCUMENT SHALL REMAIN THE PROPERTY OF VICI AND SHALL BE RETURNED UPON DEMAND.					
				Material MATERIAL	Dimensionen DIMENSIONS
Änderungen: MODIFICATIONS: a) 10.06.10 FP #622, added Part# ZF1HC				Projektion PROJECTION 	Allgemein Toleranzen GENERAL TOLERANCES SN EN 22768-1/ ISO 2768
PART NO.:					
Ferrules				Masstab SCALE 6:1	Gezeichnet DRAWN 14.12.2005 F.P. Geprüft / Freigabe CHECKED/ RELEASE 10.06.2010 FCo CAD Nr. CAD NO. 506057.idw
				Unterverz.: SUB DIREC.: KUNDE	
General dimensions				Zeichnungs Nr. / DRAWING NO.	
VICI® VICI AG International, CH-6214 Schenk				4 - GE - 5060.57 a	



**TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
DEL ACERO INOXIDABLE**

		SERIE 300 -					
		Acero al Cromo Níquel					
DESIGNACIÓN	TIPO ASTM (AISI)	301	302	303	304	304 L	321
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 6,008,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00 S% 0,15 Min.	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0010,50	C% 0,030 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0012,00	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 9,0012,00 Ti% >5xC%0,07
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	500	500	500	500
	CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m K)	a 100 C a 150 C	16 21	16 21	16 21	16 21	16 21,5
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (x 10 ⁶ C ⁻¹)	0100 C 0300 C 0500 C 0700 C	16,92 17,10 18,18 18,72	17,28 17,82 18,36 18,72	17,3 17,8 18,4 18,7	17,30 17,80 18,40 18,80	16,74 17,10 18,54 19,26
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981420	13981420	13981420	13981454	13981454	13981427
	PERMEABILIDAD TÉRMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1,02	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20°	DUREZA BRINELL RECOCIDO HB CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HB	135185 210330	135185 180330	130180 180330	130150 180330	125145 -	130185 -
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRC CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HRC	7592 2541 1/4 DURO-DURO	7090 1035	7090 -	7088 1035	7085 -	7088 -
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm(N/mm ²)	590750 8701200 1/4 DURO-DURO	560720 6801180	530700 -	500700 7001180	500680 -	520700 -
	ELASTICIDAD RECOCIDO CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (0,2)(N/mm ²)	215340 500900 1/4 DURO-DURO	205340 340900	205340 350900	195340 340900	175300 -	205340 -
	RECOCIDO Rp(1) (N/mm ²) MÍNIMO	225	245	255	235	215	245
	ALARGAMIENTO 50mm. A(%)	6555 258 1/4 DURO-DURO	6050 5010	6050 -	6550 5010	6550 -	6040 -
	ESTRICCIÓN RECOCIDO Z (%)	7060	7555	Min. 50	7560	7560	6550
	RESILIENCIA KCUL (J/cm ²) KVL (J/cm ²)	130 140	160 180	Min. 100 -	160 180	160 180	120 130
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD DIFERENTES TEMPERATURAS	Rp(0,2) (N/mm ²)	a 300 C a 400 C a 500 C	- - -	125 97 93	115 98 88	150 135 120
		Rp(1) (N/mm ²)	a 300 C a 400 C a 500 C	- - -	147 127 107	137 117 108	186 161 152
		LÍMITE DE FLUENCIA	a 500 C a 600 C a 700 C	- - -	68 42 14,5	58,5 36 10,5	102 64 16,5
		σ1 / 100.000/ t (N/mm ²) a 800 C	-	-	4,9	3,9	5,8
TRATAMIENTOS TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL (OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 9531120
	TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE
	INTERVALO DE FORJA TEMPER. INICIAL TEMPER. FINAL	1200 925	1200 925	1200 925	1200 925	1200 925	1175 925
	TEMPERATURA FORMACIÓN CASCARILLA SERVICIO CONTINUO SERVICIO INTERMITENTE	900 810	900 810	- 815	925 840	925 840	900 810
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA	NO ACONSEJABLE	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. 81112	45%	45%	55%	45%	45%	36%
	EMBUTICIÓN	BUENA	BUENA	REGULAR	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA

AUSTENÍTICO							SERIE 400 - FERRÍTICO		
Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno				Acero refractario			Acero al Cromo		
316	316 S	316 L	316 Ti	309	310	310 S	409	420	430
C% 0.08 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 16.0018,00 Ni% 10.0014,00 Mo%2,02,50	C% 0.08 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 16.0018,00 Ni% 12.0014,00 Mo%2,503,00	C% 0.03 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 16.0018,00 Ni% 10.0014,00 Mo%2,002,50	C% 0.08 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 16.0018,00 Ni% 10.0014,00 Mo%2,002,50 Ti5xC%0,80	C% 0.20 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 22.0024,00 Ni% 12.0015,00	C% 0.25 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.50 Máx. Cr% 24.0026,00 Ni% 19.0022,00	C% 0.08 Máx. Mn% 2.00 Máx. Si% 1.50 Máx. Cr% 24.0026,00 Ni% 19.0022,00	C% 0.08 Máx. Mn% 1.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 10.511,75 Ti6xC%0,75	C% 0.15 Min. Mn% 1.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 12-14	C% 0.10 Máx. Mn% 1.00 Máx. Si% 1.00 Máx. Cr% 16.0018,00
7,95	7,95	7,95	7,95	7,9	7,9	7,9	7,7	7,75	7,7
193.000	193.000	193.000	193.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	FERRÍTICO	MARTENSÍTICO	FERRÍTICO
500	500	500	500	500	500	500	460	460	460
16 21	16 21	16 21	16 21	12,5 17,5	12,5 17,5	12,5 17,5	- -	28 -	26 27
16,02 16,20 17,46 18,54	16,02 16,20 17,46 18,54	16,02 16,20 17,46 18,54	16,50 18,00 19,00 -	14,9 16,7 17,3 18, -	15,9 16,2 16,9 17,5	15,2 16,6 17,6 18,5	11,7 - - 13	10,2 10,8 11,7 12,2	10,4 11, - 11,4 11,9
13711398	13711398	13711398	1370	13981454	13981454	13981454	14271510	14541510	14271510
AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.02	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	FERRO- MAGNÉTICO	FERRO- MAGNÉTICO	FERRO- MAGNÉTICO
0,74	0,74	0,74	0,75	0,78	0,79	0,79	0,59	0,55	0,60
130185 -	130185 -	120170 -	130190 -	140185 -	145210 -	145210 -	120150 -	160190 520225 con tratamiento térmico	135180 180230
7085 -	7085 -	7085 -	7085 -	7085 -	7085 -	7085 -	6580 -	23 -	7588 -
540690 -	540690 -	520670 -	540690 -	540690 -	540690 -	520670 -	360420 -	67 84154 con tratamiento térmico	440590 610900
205410 -	205410 -	195370 -	215380 -	215370 -	215370 -	205370 -	205330 -	205330 -	250400 400860
245	245	235	255	265	265	255	235	235	275
6040 -	6040 -	6040 -	6040 -	5540 -	5540 -	6040 -	3025 -	3025 -	3022 202
7560	7560	7565	7560	7050	7050	7055	-	6055	7060
160 180	160 180	160 180	120 130	160 180	160 180	160 180	95 95	8070 6010	50 65
140 125 105	140 125 105	138 115 95	145 135 125	160 150 145	156 147 137	165 156 147	- - -	- - -	245 215 155
166 147 127	166 147 127	161 137 117	176 166 156	- - -	- - -	181 171 137	- - -	- - -	- - -
82 62 20 6,5	82 62 20 6,5	71 53 15,5 5	82 62 20 6,5	- 49 13,6 4,9	- 70,6 30 15,5	- 58,5 19,5 5	- - - -	- - - -	29,42 16,67 5,88 -
ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10201070	ENFR. RÁPIDO 10361120	ENFR. RÁPIDO 10361149	ENFR. RÁPIDO 10361149	ENFR. AL AIRE 885	ENFR. LENTO 843899	ENFR. AL AIRE 750815
NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	9821030C Rev. 149371C	NO COGE TEMPLE
1200 925	1200 925	1200 925	1150 750	1175 980	1175 980	1175 980	1150 750	10931149C (retardar enfriamiento)	1060 650
925 840	925 840	925 840	925 840	1090 1000	1120 1035	1120 1030	800 850	648 809	840 890
MUY BUENA	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA UNIÓN FRÁGIL	BUENA UNIÓN FRÁGIL	BASTANTE BUENA UNIÓN FRÁGIL
45%	45%	45%	-	45%	45%	45%	50%	45%	55%
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BASTANTE BUENA	MEDIOCRE	BASTANTE BUENA

TABLAS TECNICAS DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CORRESPONDENCIA APROXIMADA DE CALIDADES DEL ACERO INOXIDABLE ENTRE NORMAS

EN (EUROPA)	Nº	AISI (USA)	UNS	AFNOR (FRANCIA)	BSI (REINO UNIDO)	DIN (ALEMANIA)	GOST (FEDERACION RUSA)	JIS (JAPON)	SS (SUECIA)	UNE (ESPAÑA)	UNI (ITALIA)
X 10 CrNi 18-8	1.4310	301	S 30100	Z 11 CN 18-08 Z 11 CN 17-08	301 S 21	1.4310		SUS 301	23 31	X12 CrNi 17-07	X 12 CrNi 1707
		302	S 30200	Z 12 CN 18-09	302 S 25	1.4319				X10CrNi 18-09	X 8 CrNi 1910 X 10 CrNi 1809
X 8 CrNiS 18-9	1.4305	303	S 30300	Z 8 CNF 18-09	303 S 21 303 S 31	1.4305		SUS 303	23 46	X10 CrNiS 18-09	X 10 CrNiS 1809
X 5 CrNi 18-10	1.4301	304	S 30400	Z 7 CN 18-09	304 S 15 304 S 16	1.4301	08 Kh 18N10 08 Kh 18N11	SUS 304	23 32 23 33	X6CrNi 19-10	X 5 CrNi 1810
X 2 CrNi 18-9	1.4307	304 L	S 30403	Z 3 CN 19-09	304 S 11	1.4307		SUS 304 L	23 52		
X 2 CrNi 19-11	1.4306	304 L	S 30403	Z 3 CN 18-10	304 S 11	1.4306	03 Kh 18N 11	SUS 304 L	23 52	X2CrNi 19-10	X 2 CrNi 1811
X 15 CrNiSi 20-12	1.4828	309	S 30900	Z 17 CNS 20-12	309 S 24	1.4828	20 Kh 23N 13	SUH 309			X 16 CrNi 2314
X 12 CrNi 23-13	1.4833	309 S	S 30908	Z 15 CN 23-13		1.4833		SUS 309 S			X 6 CrNi 2314
		310	S 31000		310 S 24	1.4845	20 Kh 23N 18	SUH 310			X 22 CrNi 2520
X 8 CrNi 25-21	1.4845	310 S	S 31008	Z 8 CN 25-20	310 S 16	1.4845 1.4842	10 Kh 23N 18	SUS 310 S	23 61		X 6 CrNi 2520
X 5 CrNiMo 17-12-2	1.4401	316	S 31600	Z 7 CND 17-11-02	316 S 31	1.4401		SUS 316	23 47	X6CrNiMo 17-12-03	X 5 CrNiMo 1712
X 3 CrNiMo 17-13-3	1.4436	316	S 31600	Z 7 CND 17-12-02	316 S 33	1.4436		SUS 316	23 43	X6CrNiMo 17-12-03	X 5 CrNiMo 1713
X 2 CrNiMo 17-12-2	1.4404	316 L	S 31603	Z 3 CND 17-11-02 Z 3 CND 17-12-02	316 S 11	1.4404	03 Kh 17N 14 M2	SUS 316 L	23 48	X2CrNiMo 17-12-03	X 2 CrNiMo 1712
X 2 CrNiMo 18-14-3	1.4435	316 L	S 31603	Z 3 CND 18-14-03	316 S 13	1.4435	03 Kh 16N 15 M3		23 53	X2CrNiMo 17-12-03	X 2 CrNiMo 1713
X 2 CrNiMo 17-12-3	1.4432	316 L	S 31603	Z 3 CND 17-13-03	316 S 13	1.4432		SUS 316 L	23 53	X2CrNiMo 17-12-03	X 2 CrNiMo 1713
X 6 CrNiMoTi 17-12-2	1.4571	316 Ti	S 31635	Z 6 CNDT 17-12	320 S 31	1.4571	08 Kh 17N 13 M2T 10 Kh 17N 13 M2T	SUS 316 Ti	23 50	X6CrNiMoTi 17-12-03	X 6 CrNiMoTi 1712
X 6 CrNiTi 18-10	1.4541	321	S 32100	Z 6 CNT 18-10	321 S 31	1.4541	08Kh 18N 10 T	SUS 321	23 37	X6CrNiTi 18-11	X 6 CrNiTi 1811
X 6 CrAl 13	1.4002	405	S 40500	Z 8 CA 12	405 S 17	1.4002		SUS 405		X6CrAl 13	X6CrAl 13
X 2 CrTi 12	1.4512	409	S 40900	Z 3 CT 12	409 S 19	1.4512		SUH 409 L SUS 409			X2CrTi12 X6CrTi12
X 6 Cr 17	1.4016	430	S 43000	Z 8 C 17	430 S 17	1.4016	12Kh 17	SUS 430	23 20	X8Cr17	X8Cr17
X 6 CrMo 17-1	1.4113	434	S 43400	Z 8 CD 17-01	434 S 17	1.4113		SUS 434			X8CrMo 17
X 20 Cr 13	1.4021	420	S 42000	Z 20 C 13	420 S 29 420 S 37	1.4021	20 Kh 13	SUS 420 J1	23 03	X20Cr 13	X20 Cr 13
X 30 Cr 13	1.4028	420	S 42000	Z 33 C 13	420 S 45	1.4028	30 Kh 13	SUS 420 J2	23 04	X30Cr 13	X30 Cr 13
X 39 Cr 13	1.4031	420	S 42000	Z 33 C 13	420 S 45	1.4031			23 04		
X 46 Cr 13	1.4034	420	S 42000	Z 44 C 14		1.4034	40 Kh 13			X40Cr 13	X40 Cr 14
X 17 CrNi 16-2	1.4057	431	S 43100	Z 15 CN 16-02	431 S 29	1.4057	20 Kh 17 N 2	SUS 431	23 21	X15CrNi 16	X16Cr Ni 16



Irestal Group

www.irestal.com

IG 017/wwww

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Barrero Ripoll y M. Pérez-Saborid Sánchez-Pastor, *Mecánica de Fluidos*, McGraw-Hill, 2005.
- [2] J. F. Coronel Toro, *Colección de Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor*, Versión 3.5, Grupo de Termotecnia, Universidad de Sevilla, septiembre de 2014.
- [3] H. Carslon, *Spring Designers' Handbook*, Marcel Dekker, 1978.
- [4] Irestal Group (2019). *Tablas Técnicas del Acero Inoxidable*. Disponible en <http://www.irestal.com/services/technical-tables&lang=es>
- [5] Ministerio de Fomento de España (2015), *Documento Básico SE-A Seguridad Estructural Acero*. Disponible en <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-seguridad-estructural.html>
- [6] F. París Carballo, *Teoría de la Elasticidad*, 3ª ed, Grupo de Elasticidad y Resistencia de Materiales, Universidad de Sevilla, 2000.
- [7] Precision Castparts Corp. (2018), *Special Metals, Products. Nickel & Cobalt Alloys, Alloys Literature, INCONEL® Alloy 625*. Disponible en <http://www.specialmetals.com/tech-center/alloys.html>.
- [8] Real Decreto 1829/1995, *Norma Básica de la Edificación NBE EA-95, Parte 5 Uniones Soldadas*, 1996.
- [9] S. Suman (2016), *Temperature dependent Material properties of AISI 304 steel*. Disponible en https://www.researchgate.net/figure/Temperature-dependent-Material-properties-of-AISI-304-steel_fig3_315366084
- [10] Verein Deutscher Ingenieure - VDI (Asociación de Ingenieros Alemanes), *VDI 2230 Part I Systematic Calculation of High Duty Bolted Joints with Joints with One Cylindrical Bolt*, 1986.
- [11] M. Á. Zayas Martín y A. M. Gañán Calvo, *Sistema de producción de nanopartículas por nebulización neumática en el entorno del punto crítico*, junio de 2017.

